ÉTUDES PHYSIOLOGIQUES

SUR LES

CARACTÈRES GRAPHIQUES

DES BATTEMENTS DU CŒUR

Paris. — Imprimerie de E. Martinet, rue Mignon, 2.

ÉTUDES PHYSIOLOGIQUES

SUR LES

CARACTÈRES GRAPHIQUES

DES BATTEMENTS DU CŒUR

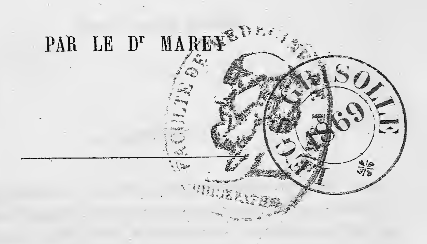
ET DES

MOUVEMENTS RESPIRATOIRES

ET

SUR LES DIFFÉRENTES INFLUENCES QUI LES MODIFIENT

PAR LE Dr MAREY



PARIS

GERMER BAILLIÈRE, LIBRAIRE-ÉDITEUR

RUE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE, 17

Londres | New-York
Hipp. Baillière, 219, Regent street | Baillière Brothers, 440, Broadway

MADRID, C. BAILLY-BAILLIÈRE, PLAZA DEL PRINCIPE ALFONSO, 16

1865

EXTRAIT

JOURNAL DE L'ANATOMIE ET DE LA PHYSIOLOGIE DE L'HOMME ET DES ANIMAUX.

N° du 1er avril 1865.

ÉTUDES PHYSIOLOGIQUES

SUR

LES CARACTÈRES DU BATTEMENT DU CŒUR

ET LES CONDITIONS QUI LE MODIFIENT

Par le docteur MAREY.

AVANT-PROPOS.

Presque toutes les fonctions qui s'accomplissent dans l'économie donnent naissance à un mouvement; tantôt ce mouvement est très-apparent comme dans la circulation, la respiration, l'action musculaire; tantôt il est plus vague, comme cela se voit pour les sécrétions, dans lesquelles le produit sécrété s'écoule d'une vitesse variable; tantôt enfin, le phénomène produit n'est pas un mouvement par lui-même, mais peut être transformé en mouvement, comme cela arrive pour la fonction de la calorification. Dans ce dernier cas, la chaleur produite ne peut s'évaluer qu'au moyen d'appareils qui la transforment en mouvement. Le nombre des

fonctions dont le mouvement est la manifestation objective est donc considérable et ce sont celles qui présentent le plus de facilité pour l'étude; on peut même dire que la plupart des autres fonctions se bornent à des phénomènes presque impossibles à bien étudier sur autrui. Si l'anatomie peut être définie l'étude de la forme des organes, la physiologie n'est elle-même que l'étude des mouvements organiques. Or, le meilleur procédé pour décrire un organe c'est de représenter par le dessin l'apparence extérieure ou les détails de sa structure; ce que le dessin est pour l'anatomie, le *graphique* l'est pour la physiologie.

L'emploi du graphique est la manière la plus concise et la plus précise de décrire toutes les variations que subit un phénomène en un temps donné. Aussi, chaque jour, cet emploi se généralise-t-il davantage. Déjà l'industrie ne saurait plus se passer de son secours pour l'étude des forces développées par les machines et des mouvements qu'elles produisent. Les grandes études économiques et statistiques trouvent dans son secours un moyen d'exprimer vite et clairement les conclusions qui ressortent de longs calculs. Un trait onduleux qui couvre l'espace de quelques lignes, explique en un instant ce qu'on ne pourrait exprimer que par des pages, et même des volumes entiers, d'une aridité rebutante.

Mais restons dans notre sujet plus restreint des sciences biologiques. Un jour viendra, nous en sommes convaincu, où les traités de physiologie useront du graphique aussi largement que ceux d'anatomie ou d'histologie usent du dessin. C'est cette conviction profonde qui nous pousse à chercher des moyens d'enregistrer de nouvelles fonctions. Dans le dernier numéro de ce journal, nous avons décrit un appareil qui permettra, nous l'espérons, de réaliser de nouveaux progrès dans l'étude de la chaleur animale. Aujourd'hui, c'est à l'étude du battement extérieur du cœur et des diverses formes des mouvements respiratoires que nous essayons d'appliquer la même méthode. Le présent article sera consacré à l'exposition des diverses formes que peut présenter la pulsation du cœur suivant la manière dont s'exécute la fonction de cet organe.

CARDIOGRAPHIE.

Le battement du cœur contre les parois de la poitrine est en général sensible au toucher même chez l'homme sain ; il est exagéré par certaines maladies, il est modifié par certaines autres. En somme, tout portait à croire à priori que l'étude de ce phénomène pouvait fournir au physiologiste comme au clinicien des notions d'une grande valeur. Aussi avions-nous songé depuis longtemps à recueillir le tracé de la pulsation cardiaque afin d'apprécier le mode de fonctionnement du cœur chez l'homme, d'une manière plus directe qu'on ne saurait faire d'après les caractères du pouls artériel. Plus tard, l'emploi du sphygmographe nous a révélé l'énorme influence que l'état des vaisseaux exerce sur les caractères du pouls dont la forme varie avec l'élasticité, le volume et le degré de réplétion des artères. Si donc, le sphygmographe nous fournit de précieux renseignements sur l'état de la circulation vasculaire, c'est à la pulsation du cœur lui-même qu'il faut nous adresser pour avoir l'expression la plus directe, et conséquemment la moins altérée de la fonction cardiaque.

Comment obtenir un tracé fidèle de ces pulsations? Pour cela, différents procédés peuvent être mis en usage suivant les cas. Dans les expériences physiologiques faites sur les animaux inférieurs, on peut mettre le cœur à nu et faire agir directement la surface de cet organe sur les appareils destinés à enregistrer son mouvement. Rien n'est plus facile que d'expérimenter dans ces conditions sur la plupart des animaux à sang froid, mais chez les animaux supérieurs, les appareils doivent présenter un peu plus de complication.

A. — *Tracés directement obtenus sur le cœur mis à nu.*

Première expérience. — On fixe une grenouille sur une planchette, et l'on met à nu le cœur de l'animal. Au-dessus de la grenouille, à 4 ou 5 centimètres de distance, on place un levier de sphygmographe fixé sur un support vertical. On appli-

que sur le cœur de la grenouille une petite baguette de bois léger, portant à ses deux bouts de petites pointes très-courtes, l'une destinée à empêcher la baguette de glisser sur le ventricule de la grenouille, l'autre ayant également pour but d'empêcher le glissement de l'extrémité supérieure de cette baguette sur la face inférieure du levier enregistreur. L'appareil étant ainsi disposé, on voit le levier exécuter des oscillations uniformes dont chacune est produite par un mouvement du cœur. Une grenouille ainsi préparée, par un temps froid, nous a donné des mouvements réguliers et faciles à enregistrer pendant plus de trente heures.

Le tracé recueilli par ce procédé permet de saisir les différents éléments de la pulsation cardiaque. Ainsi, dans le tracé du cœur de la grenouille (pl. I, fig. 1), on voit que chaque battement se compose de deux pulsations successives de hauteurs très-différentes. La première A est due à la contraction de l'oreillette; la deuxième B est produite par la contraction de ventricule, c'est-à-dire que le cœur soulève le levier en vertu de deux forces successivement déployées : la première consiste en un gonflement du ventricule au moment où l'oreillette lui envoie le sang qu'elle renfermait; la seconde résulte du durcissement du ventricule lui-même, au moment où il se contracte pour se vider dans les artères.

Ce procédé, fort simple pour recueillir le tracé du battement du cœur chez les animaux à sang froid, pourra être employé à déterminer avec exactitude les conditions qui modifient la force et la fréquence de ses battements. Quant à leur forme, elle est en général fort simple, et consiste en courbes arrondies qui sont loin d'offrir autant d'intérêt au physiologiste que les battements si complexes du cœur des mammifères. Toutefois, ces formes diffèrent assez d'une espèce d'animal à une autre pour fournir une curieuse étude de physiologie comparée. On en pourra juger par les expériences suivantes.

Deuxième expérience. — Sur une anguille, le cœur fut mis à nu et l'animal, placé dans les conditions décrites précédemment, fournit le tracé représenté pl. I, fig. 2.

On retrouve ici les mêmes caractères que pour le battement

PLANCHE I.

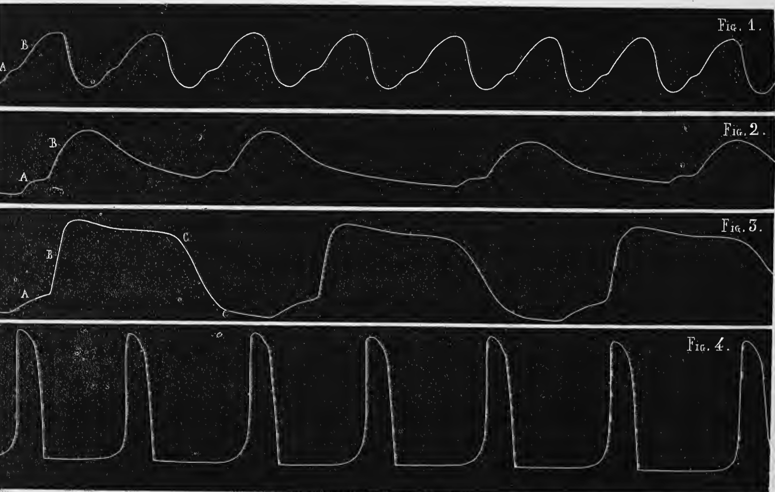


Fig. 1. Cœur de grenouille. — Fig. 2. Cœur d'anguille. — Fig. 3. Cœur de tortue. — Fig. 4. Cœur de crabe.

du cœur de la grenouille ; seulement, la période de relâchement du ventricule est beaucoup plus longue dans l'anguille. A mesure que la vie s'éteignait chez l'animal, on pouvait voir les battements du cœur devenir plus rares et tomber à moins de deux par minute. Il sera intéressant de voir comment se comportent les contractions des oreillettes par rapport à celles du ventricule, et si l'espace qui sépare les systoles de ces deux cavités s'accroît en raison de l'intervalle qui existe entre deux révolutions complètes du cœur.

Troisième expérience. — Le cœur d'une tortue étant mis à nu et placé dans les mêmes conditions, donne le tracé fig. 3, pl. I.

On distingue encore ici la succession des systoles de l'oreillette A, et du ventricule B ; mais on voit apparaître un caractère particulier de la systole ventriculaire qui garde une certaine énergie de B en C. L'horizontalité presque complète de la ligne qui joint ces deux points montre qu'il existe une période d'état pour la contraction ventriculaire. Nous retrouverons ce caractère chez les animaux à sang chaud, principalement dans la sénilité, ou sous l'influence du froid. Il faut remarquer, en outre, que le début de la systole ventriculaire se fait avec une brusquerie qu'exprime la verticalité de la ligne ascendante A B, cette brusquerie de la systole se retrouvera encore et à un plus haut degré chez les animaux à sang chaud.

Quatrième expérience. — On enlève la carapace d'un crabe (tourteau) en ayant soin de ménager les membranes sous-jacentes et l'on dénude ainsi la région cardiaque. Le cœur présente alors ses battements d'une manière très-nette sous forme de soulèvement et d'abaissement alternatifs de la membrane qui le recouvre. L'instrument fournit le tracé fig. 4, pl. I.

Dès le premier coup d'œil, on est frappé des caractères tout spéciaux de cette pulsation forte et brève, mais surtout dépourvue de ce premier soulèvement A qui existait dans tous les tracés précédents, et qui était produit par la contraction de l'oreillette. C'est qu'en effet cette cavité elle-même est absente. On a donné, il est vrai, le nom d'oreillette à la poche enveloppante dans laquelle baigne le ventricule, mais ce n'est en réalité qu'un réceptacle inerte pour le sang ; le ventricule seul présente des contrac-

tions, et c'est celles-ci qui s'accusent dans le tracé par ce soulèvement unique et si intense. On peut exciser toute la paroi de la poche enveloppante et mettre le ventricule à nu sans modifier la forme du tracé obtenu.

On voit, par la variété des figures qui précèdent, que la physiologie comparée pourra tirer un grand parti de l'emploi de la méthode graphique pour la comparaison des mouvements fonctionnels qui se passent chez les animaux différents.

B. — *Tracés fournis sur les grands animaux par le cardiographe, à l'aide d'une ampoule élastique placée dans la paroi de la poitrine.*

Chez les animaux supérieurs, les grandes mutilations doivent être évitées; on pourrait, en effet, les accuser d'introduire dans la fonction cardiaque des perturbations considérables. Dans les expériences faites avec la collaboration de Chauveau, nous avons essayé de produire le moins possible de mutilations chez les chevaux mis en expérience, et nous avons réussi à obtenir des tracés fort bons de la pulsation cardiaque au moyen d'une ampoule de caoutchouc remplie d'air et introduite dans un espace intercostal. Comme ces expériences ont été publiées avec détails (1), nous en rappellerons seulement les points essentiels.

L'ampoule dont nous nous servions était formée de deux hémisphères de métal reliés l'un à l'autre par une tige rigide qui était soudée perpendiculairement au centre de la partie plane de chacun d'eux. Une membrane de caoutchouc bien tendue recouvrait le tout; enfin, un tube métallique mettait l'intérieur de cette ampoule en communication avec l'air extérieur. Suivant que la pression exercée par le cœur sur cette ampoule était plus ou moins forte, l'air qu'elle contenait était expulsé par le tube en plus ou moins grande quantité. Quand la pression diminuait, l'air rentrait au contraire dans l'ampoule. Ces mouvements alternatifs de l'air, transmis au moyen d'un tube de caoutchouc au tambour

(1) *Physiologie médicale de la circulation du sang*, in-8. Paris, 1863. Adrien Delahaye.

du cardiographe, se traduisaient fidèlement par des mouvements d'élévation ou d'abaissement de la membrane et du levier qui reposait sur elle de telle sorte que dans le tracé obtenu, on pouvait toujours juger de l'intensité de la pression du cœur contre la paroi par la hauteur plus ou moins grande avec laquelle la courbe s'élevait. La figure 5 représente le tracé obtenu sur le cheval dans ces conditions.

Fig. 5.



On voit combien la courbe est ici plus complexe que dans le tracé fourni par les animaux inférieurs. Les nombreuses sinuosités qu'on y observe répondent chacune à un élément particulier de la révolution cardiaque. La fonction, on le voit, est plus complexe quand l'organe est plus compliqué. Pour comprendre la signification de chacun des éléments de cette courbe, il fallait savoir exactement ce qui se passe dans les cavités du cœur au moment précis où se produisent chacune des sinuosités que renferme le tracé pris à l'extérieur du cœur. On sait comment nous avons résolu la question en enregistrant d'une manière simultanée les mouvements de l'oreillette et ceux du ventricule avec la pulsation elle-même. Un cardiographe spécial enregistrait chacun de ces mouvements divers, mais les extrémités des plumes qui, sur un même rouleau de papier, traçaient chacune une courbe différente, étaient placées verticalement les unes au-dessus des autres, de telle sorte que tous les mouvements synchrones entre eux se trouvaient représentés sur une même ligne verticale.

Or, l'analyse du tracé obtenu nous a révélé la signification de tous les éléments de la courbe fournie par la pulsation cardiaque. Elle nous a montré que cette pulsation qui, au toucher, se réduit pour ainsi dire à un *choc* instantané, renferme en elle-même

l'expression de la fonction cardiaque tout entière. Sans répéter ici ce que nous avons longuement exposé ailleurs (1), nous résumerons les principales conclusions auxquelles nous sommes arrivé :

1° La pulsation cardiaque avec toutes ses variations est produite par la pression plus ou moins forte, et à chaque instant variable, que les ventricules du cœur exercent contre les parois de la poitrine.

2° Au moment où les oreillettes se contractent, les ventricules recevant une certaine quantité de sang qui achève de les remplir, se gonflent et pressent contre la paroi ; de là une première élévation du tracé représenté au point A (fig. 5).

3° Lorsque le ventricule se contracte, il prend énergiquement une forme globuleuse, augmente de consistance et repousse la paroi thoracique qui, auparavant, le déformait par sa pression. Cela produit un nouveau mouvement d'ascension de la courbe signalé dans le tracé au point B.

4° Pendant la contraction du ventricule qui dure de B en C, l'issue du sang produit une diminution de volume de l'organe. Celui-ci, tout en restant dur et globuleux, s'éloigne donc graduellement de la paroi thoracique ou plutôt la comprime moins fort. Il en résulte un abaissement graduel de la courbe de B en C ; mais au moment où la contraction cesse, cet abaissement devient subit, indiquant que le ventricule, sans avoir encore repris son volume par l'arrivée de nouveau sang, vient de perdre la consistance qu'il devait à sa contraction.

5° Dès que le ventricule s'est relâché, le sang recommence à le remplir; à mesure qu'il se gonfle, il presse plus fortement la paroi. Cette réplétion est exprimée par l'ascension lente du tracé, depuis la fin de la systole jusqu'à la prochaine contraction de l'oreillette.

6° Enfin, le mouvement des valvules lui-même s'accuse par des ondulations particulières qui nous restent à décrire.

Au commencement de la systole ventriculaire, après le point B,

(1) *Phys. méd.*, p. 69 à 82.

les valvules auriculo-ventriculaires se ferment violemment et exécutent, comme tout corps élastique mû par une masse pesante, des oscillations auxquelles participe toute la masse du sang contenu dans les cavités. Ces mouvements, qui accompagnent la clôture des valvules auriculo-ventriculaires, se traduisent par les deux ou trois ondulations qui, dans le tracé, se trouvent au début de la systole des ventricules.

Les valvules sigmoïdes de l'aorte, en se fermant, produisent un phénomène analogue, accusé dans le tracé par une légère ondulation, immédiatement à la fin de la systole.

La signification de ces mouvements divers de la courbe tracée a été, nous le répétons, établie d'après des expériences nombreuses; nous avons même réussi à obtenir sur des appareils schématiques une reproduction synthétique de tous ces phénomènes, de sorte qu'on ne saurait douter de l'exactitude de cette interprétation. Nous passerons donc outre, en nous bornant à affirmer ici ce que nous avons longuement discuté précédemment. Du reste les discussions académiques qui ont eu lieu à propos de nos expériences cardiographiques ont dû fixer l'opinion sur la signification du tracé de la pulsation cardiaque.

C. — *Tracés obtenus sur l'homme à l'aide d'un appareil simplement appliqué sur la région précordiale.*

Les nombreux détails fournis par le tracé du cœur chez le cheval nous faisaient vivement désirer d'obtenir sur l'homme une manifestation analogue de la pulsation cardiaque. L'application directe du sphygmographe sur les parois de la poitrine était trop difficile pour entrer dans la pratique médicale, et même pour permettre des expériences physiologiques un peu rigoureuses. Il fallait chercher un appareil qui pût s'adapter facilement à la paroi thoracique et transmettre les mouvements au cardiographe comme dans les expériences faites sur le cheval. Chez certains sujets, le battement est assez fort pour produire un mouvement visible à l'extérieur. Les parties molles situées au niveau de la pointe du cœur sont poussées en avant à chaque systole et

s'affaissent au moment de la diastole. Chez ces individus, il est très-facile d'enregistrer la pulsation. Un entonnoir de verre, dont le pavillon est fermé par une membrane, et dont le bec se continue avec le tube du cardiographe, suffit pour obtenir un excellent tracé. On applique cette membrane sur le point où se produit le battement, et les mouvements, immédiatement imprimés à l'air de l'entonnoir, se transmettent fidèlement jusqu'à l'enregistreur. Tel était l'appareil dont se servait le docteur Upham (de Boston), dans le but de traduire par des sonneries de différents timbres les mouvements de l'oreillette et du ventricule, dans ses expériences sur le nommé Groux qui portait une fissure congénitale du sternum. Buisson employa le même procédé pour transmettre à notre sphygmographe les battements du cœur; il obtint ainsi sur lui-même des tracés, et en recueillit également avec un entonnoir sans membrane. Mais de tels moyens ne réussissent que sur de rares sujets; il fallait chercher un appareil plus sensible. C'est ce que nous avons fait de la manière suivante.

Une première indication se présentait : c'était de donner à cet appareil une surface convexe, de telle sorte qu'il pût pénétrer dans un espace intercostal en déprimant les parties molles, et qu'il pût aller, pour ainsi dire, au-devant du battement quand celui-ci ne se traduisait pas à l'extérieur. C'est ainsi que le pouls ne se révèle énergiquement au sphygmographe que grâce à la pression du ressort qui appuie sur le vaisseau exploré et va chercher la pulsation à travers les parties molles. Cette forme convexe, nous la trouvâmes réalisée dans le stéthoscope de König. Voici la disposition de cet instrument.

Une cloche de cuivre est fermée par deux membranes de caoutchouc superposées. Un petit tube latéral permet d'insuffler de l'air dans le dédoublement de ces deux membranes; celles-ci, écartées l'une de l'autre par l'air foulé, prennent chacune une courbure de sens opposé et constituent une sorte de lentille biconvexe remplie d'air. La convexité extérieure s'applique sur la poitrine et s'y adapte beaucoup mieux que ne ferait une surface plane. Si l'on abouche le tube qui sert à ausculter, dans l'instrument de König, au tube de transmission du cardiographe

on obtient avec cet instrument un tracé beaucoup plus parfait que celui que fournit un entonnoir fermé par une membrane plane; mais ce tracé est encore défectueux et ne saurait être comparé pour sa netteté et le nombre de ses détails au tracé, recueilli sur le cheval dans l'expérience indiquée plus haut, et représenté figure 5.

Il nous a semblé qu'une cause de perte de sensibilité pour cet instrument résidait dans la compressibilité de l'air emprisonné entre deux membranes élastiques aussi fortement tendues. Dans ces conditions, le mouvement de la seconde membrane devait être sensiblement plus faible que celui de la première. Du reste, il existait un moyen très-simple de faire disparaître cet inconvénient; c'était de substituer à l'air un liquide qui, par son incompressibilité, assurât l'intégrité de la transmission du mouvement de la première membrane à la seconde. De l'eau fut introduite dans l'intervalle des deux membranes, et nous pûmes aussitôt constater que la sensibilité de l'appareil était considérablement augmentée. Avec cette disposition, nous pûmes enregistrer les battements du cœur chez la plupart des sujets qui se sont présentés à notre observation. L'application de l'appareil, rendue un peu plus difficile chez la femme à cause de la présence de la mamelle, est cependant réalisable dans presque tous les cas.

Expérience. — Pour obtenir le plus facilement possible le tracé de la pulsation du cœur, il faut faire asseoir le sujet, le corps légèrement penché en avant et à gauche, afin que le cœur se porte le plus possible au contact de la paroi thoracique, et le bras gauche pendant, afin de relâcher le muscle grand pectoral. On applique le stéthoscope sur le point où le battement se sent le mieux au toucher, et l'on regarde le levier afin d'observer les oscillations qu'il exécute. Lorsqu'on s'aperçoit, à l'amplitude suffisante des oscillations produites, que l'instrument est bien appliqué, on fait marcher l'enregistreur, et l'on obtient un tracé plus ou moins analogue à celui qui est représenté pl. II, fig. 1.

Si l'on compare une pulsation de ce tracé avec l'une de celles qui ont été recueillies sur le cheval, et représentées figure 5, on voit qu'une extrême analogie existe entre les deux courbes;

PLANCHE II.

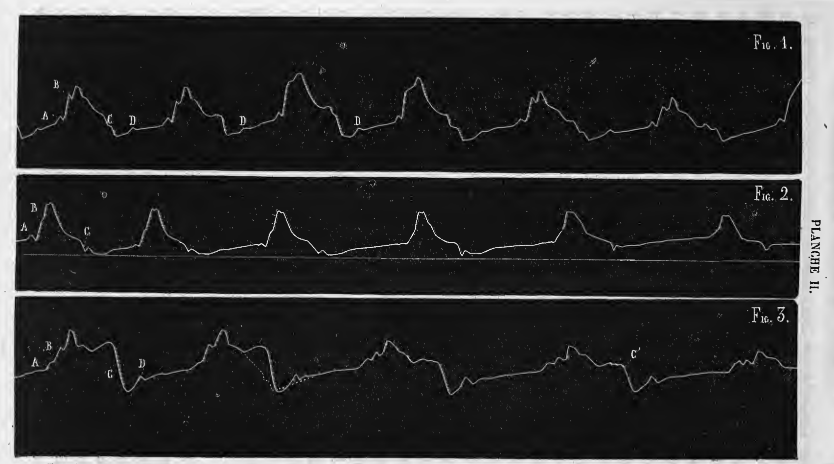


Fig. 1. Tracé de la pulsation du cœur sous l'influence de la respiration. — Fig. 2. Tracé sous l'influence de l'arrêt de la respiration. — Fig. 3. Tracé sous l'influence d'un effort respiratoire.

cette ressemblance fonctionnelle pouvait se prévoir d'après la ressemblance anatomique du cœur du cheval avec celui de l'homme. On est autorisé à interpréter chacune des sinuosités que présente une pulsation du cœur de l'homme comme on l'a fait pour les pulsations du cheval, et l'on peut dire que dans ce tracé, le point A correspond à la systole de l'oreillette, le point B à celle du ventricule; que les trois ondulations suivantes sont produites par le claquement de la valvule mitrale; enfin, que la systole ventriculaire dure jusqu'au point C, où elle se termine par le claquement de la valvule sigmoïde. A partir de ce point, l'ascension de la ligne se fait graduellement et indique la réplétion lente du ventricule par l'effet du retour du sang veineux dans le cœur, jusqu'à la prochaine systole de l'oreillette.

Signalons un petit accident de la courbe; c'est l'ondulation DDD (fig. 1) qui se rencontre dans toutes les pulsations, et dont la cause n'a pas été déterminée à l'époque des expériences cardiographiques. Ce mouvement nous avait toutefois apparu dans plusieurs cas; mais comme il est exceptionnel chez le cheval, nous le négligeâmes pour nous borner à l'interprétation des mouvements qui se produisent constamment et qui correspondent à quelque élément important de la pulsation.

Plusieurs raisons que nous exposerons plus tard nous font attribuer l'ondulation D à l'arrivée brusque du sang dans le ventricule au moment où celui-ci se relâche.

Première expérience. — *Influence de la respiration sur le tracé de la pulsation du cœur.*

Si l'on examine un tracé de la pulsation du cœur recueilli pendant un temps assez long, on voit qu'il existe une ondulation générale de la *ligne d'ensemble* du tracé. Cette ondulation tient aux influences respiratoires; elle se produit par une double cause. D'abord, la poitrine se dilatant et se resserrant d'une manière alternative, il arrive ordinairement que la pression de la main qui fixe le stéthoscope varie sous l'influence de ces mouvements. Cette pression augmente au moment de l'inspiration et diminue

au moment de l'expiration. Toutefois, avec un peu d'habitude, on peut supprimer cet effet et exercer une pression sensiblement constante, la main suivant le mouvement de la poitrine et lui obéissant d'une manière parfaite. Mais, dans ces conditions mêmes, la respiration fait encore sentir son influence et modifie la forme et l'amplitude des pulsations cardiaques. Les pulsations qui correspondent à l'inspiration ont plus d'*amplitude* (hauteur) que celles qui se font pendant l'expiration. Elles sont aussi légèrement modifiées dans leur forme. On en peut juger en comparant (fig. 1) les pulsations 1, 2, 5 et 6, qui correspondent à des expirations, avec les pulsations 3 et 4, qui se sont produites pendant l'inspiration. Sur un tracé d'une certaine longueur, il est curieux d'observer ces retours périodiques de formes variées, retours qui sont rhythmés avec la respiration et se font avec une régularité vraiment surprenante.

A quoi tiennent ces changements dans l'amplitude des battements du cœur? Deux hypothèses sont possibles : ou bien le diaphragme, élevant et abaissant le cœur par ses mouvements alternatifs, le place dans des positions inégalement favorables à la production de la pulsation ; ou bien l'état de la circulation pulmonaire modifie par lui-même les battements du cœur droit, celui précisément qui est le plus directement en rapport avec la paroi de la poitrine. On sait que l'état de la circulation artérielle influe beaucoup sur la fréquence des battements du cœur (1); il était donc naturel de supposer que la circulation pulmonaire, suivant qu'elle serait entravée ou facilitée, doit modifier les battements du cœur droit. Or, le poumon, très-perméable au sang pendant l'inspiration, l'est très-peu pendant l'expiration.

Le cœur se trouve donc dans des conditions d'action différentes dans les deux phases alternatives du mouvement respiratoire. Nous penchons à admettre que cette influence de la circulation pulmonaire sur les battements du cœur est la cause véritable des changements que la respiration produit dans la forme de ces battements. L'expérience suivante viendra à l'appui de cette hypo-

(1) Voy. *Phys. med.*, p. 235.

thèse, en même temps qu'elle montrera que la position du cœur déterminée par le jeu du diaphragme n'exerce pas l'influence qu'on pouvait lui attribuer.

Deuxième expérience. — *Influence de l'arrêt de la respiration sur les caractères des pulsations du cœur.*

Au moment où les pulsations cardiaques ont leur maximum d'amplitude, c'est-à-dire au moment de l'inspiration, on cesse de respirer; aussitôt le tracé présente une modification qui se prononce toujours davantage pendant l'arrêt de la respiration, et qui consiste en un changement dans l'amplitude et la forme de ces battements.

La figure 2, planche II (dans le texte), représente les battements du cœur pendant cet arrêt de la respiration; on voit que ces battements ont une amplitude toujours décroissante. Or il est impossible d'attribuer cet effet à un changement de position du cœur, déplacé par le diaphragme, puisque celui-ci est frappé d'immobilité par l'arrêt de la respiration. Le cœur reste donc toujours fixe à cette même place où les battements s'exerçaient avec ampleur au commencement de l'expérience, et si l'amplitude de ceux-ci diminue, il faut nécessairement s'en prendre à quelque cause inhérente au cœur lui-même.

Si l'on se reporte à ce que nous avons publié au sujet (1) des conditions qui font varier l'amplitude du pouls, on comprendra que l'état de la pression intra-cardiaque ou, en d'autres termes, le degré de plénitude du cœur doit influer sur la force de sa pulsation, absolument comme la *tension* artérielle, c'est-à-dire le degré de plénitude des artères influe sur la force de leurs battements. Or nous avons montré que plus les artères se vident facilement dans les veines à travers les capillaires dilatés, plus la tension artérielle baisse et plus les battements du pouls deviennent violents.

Il est naturel de supposer que le cœur doit se comporter de la

(1) *Loc. cit.*, p. 235.

même façon et présenter des battements d'autant plus violents que sa plénitude est moindre. Qu'est-ce, en effet, que la pulsation cardiaque? C'est l'expression du changement de consistance du cœur qui, dépressible pendant son relâchement, durcit pendant sa contraction. Or on peut représenter par des chiffres la consistance du cœur à chaque instant; elle n'est autre que la manifestation extérieure de la pression du sang qui y est renfermé. Les expériences de cardiographie nous ont montré que pour le cœur droit, cette pression intérieure s'élève à 30 millimètres de mercure environ, au moment de la systole, tandis qu'elle tombe à zéro ou à quelques millimètres au plus, au moment du relâchement. Ces mêmes expériences nous ont donné des différences très-grandes dans la pression minimum, suivant qu'on observait des contractions cardiaques correspondant à l'inspiration ou à l'expiration. C'est presque exclusivement cette variation du minimum qui constituait les variations de l'amplitude du tracé des contractions cardiaques; de telle sorte que la ligne qui passait par les points maxima du tracé était sensiblement une droite horizontale, tandis que celle qui joignait les minima donnait une courbe onduleuse suivant les variations de la respiration ellemême.

Ces faits, que nous venons de rappeler en quelques lignes, donnent l'explication des changements d'intensité que présente le battement du cœur. L'intensité de ce battement est un effet direct de l'écart qui existe entre le maximum et le minimum de la pression intérieure. Plus cet écart sera grand, plus le battement sera énergique. Or les maxima de pression sont sensiblement fixes, mais les minima sont variables; plus ces derniers descendront bas, plus l'écart sera grand et la pulsation énergique.

Ainsi s'explique déjà le phénomène signalé figure 1, et qui consiste dans l'excès constant de l'amplitude des battements du cœur au moment de l'inspiration.

Voyons maintenant pourquoi les pulsations perdent de plus en plus leur énergie, si la respiration est arrêtée pendant un certain temps en inspiration, c'est-à-dire dans la position qui était d'abord si favorable à l'amplitude du tracé.

Le poumon, avons-nous dit, est perméable au sang quand il respire, tandis qu'il cesse de l'être au même degré lorsque la respiration s'arrête. On est donc en droit d'admettre que dans l'arrêt de la respiration, le cœur droit se videra d'une manière moins complète que dans les conditions normales. D'autre part, recevant toujours de l'oreillette droite et des veines une nouvelle quantité de sang, le ventricule droit ne tardera pas à se distendre et à se trouver dans les conditions qui donnent le moins de force à sa pulsation.

Nous devons donc considérer la diminution d'intensité des battements du cœur sous l'influence de l'arrêt de la respiration comme un effet de la réplétion considérable du cœur droit, celui précisément qui, par sa position, prend la plus grande part dans le battement contre la paroi thoracique.

Mais on exigera sans doute des preuves plus directes de la réalité de cette réplétion du cœur par suite de l'arrêt de la respiration. Nous pourrions invoquer à l'appui de cette thèse des faits cliniques très-nombreux qui prouvent que les affections qui amènent la gêne respiratoire amènent une stagnation du sang dans les cavités droites du cœur et produisent une dilatation considérable de ces cavités. Nous pourrions citer ce qui se passe dans l'asphyxie et la strangulation ; dans ces cas, on trouve les cavités droites gorgées de sang par l'effet de l'arrêt des mouvements respiratoires. Mais nous ne sortirons pas du domaine de la physiologie expérimentale pour trouver la preuve de notre assertion ; cette preuve nous sera fournie par le tracé lui-même.

Si l'air contenu dans les tubes et les tambours du cardiographe s'y trouve bien hermétiquement enfermé, on pourra considérer la position des maxima et des minima de la courbe graphique donnée par les battements du cœur comme la représentation exacte des maxima et des minima de la pression du sang dans le cœur ; de sorte que si la réplétion du ventricule, par suite de l'arrêt de la respiration, élève graduellement les minima de la pression dans le cœur droit, on devra voir dans le tracé une élévation graduelle de la ligne qui joindrait les points minima des différentes pulsations. Or, en tirant une ligne horizontale au-

dessous du tracé fourni par l'arrêt de la respiration (pl. II, fig. 2), on voit que les minima de la pression intra-cardiaque sont au contact de cette ligne au commencement de l'expérience, tandis qu'à la fin du tracé, ils s'élèvent très-sensiblement au-dessus de son niveau.

On voit de plus que les maxima des différentes pulsations sont tous sensiblement sur une même ligne horizontale, ce qui exprime bien l'égale intensité des différentes systoles du cœur. Enfin, à l'inspection de cette figure, on comprend clairement ce que nous disions tout à l'heure de la cause principale qui fait varier la force des battements du cœur, ces battements prenant d'autant plus de force que le cœur se vide d'une manière plus complète. Du reste, la suite des expériences, en confirmant cette proposition, nous fera connaître de nouveaux détails sur la signification des différentes formes du tracé de la pulsation cardiaque. Pour mieux faire saisir l'importance de certains caractères de cette pulsation, nous allons de suite examiner le cas dans lequel ils se trouvent le plus prononcés.

TROISIÈME EXPÉRIENCE. — *De la pulsation cardiaque après l'effort.*

Si l'on se reporte à ce que nous avons dit de l'influence de l'effort sur le pouls (*Phys. méd.*, p. 296 et fig. 91), on verra que si l'on a fait un effort violent d'expiration en tenant la glotte fermée, lorsqu'on cesse cet effort, le pouls prend des caractères tout particuliers ; faible d'abord, il prend bientôt une force considérable qu'il conserve quelques instants, en même temps que s'accuse un accroissement de la tension artérielle. Cette tension artérielle forte avec un pouls fort était une exception à la loi générale ; nous l'avons expliquée en montrant que le sang, arrêté dans le système veineux pendant l'effort, s'est précipité abondamment dans les cavités droites et le poumon aussitôt que l'effort a cessé ; qu'à un certain moment, le cœur gauche a reçu du sang en abondance et l'a lancé dans les artères sous forme d'ondées d'un volume considérable, produisant ainsi et la tension

élevée et les pulsations fortes que le sphygmographe révèle. Voyons ce que devient à ce moment la pulsation du cœur. La figure 3, planche II, nous représente le tracé du cœur au moment où le pouls est arrivé à toute sa force, et lorsque s'est déjà produit l'intermittence qui arrive ordinairement à la septième pulsation après la cessation de l'effort.

Cette figure présente une modification profonde, si on la compare aux précédentes. Toutefois nous allons montrer qu'il est facile d'y reconnaître les principaux éléments qui caractérisent une pulsation normale; la modification la plus profonde du tracé porte sur la fin de la pulsation, au moment où le ventricule entre en relâchement.

On reconnaîtra tout d'abord dans la petite ondulation A l'expression de la systole de l'oreillette; en B, celle du ventricule, avec les ondulations qui l'accompagnent. A partir de ce point, la pulsation perd ses caractères normaux; elle devrait, en effet, suivre la direction que nous avons figurée dans la seconde pulsation par une ligne ponctuée; au lieu de cela, le tracé se relève pour retomber ensuite plus bas qu'à l'état normal et présenter une nouvelle ondulation D dont la signification n'a pas encore été indiquée. De plus, la clôture des valvules sigmoïdes n'est pas accusée, du moins sur les premières pulsations. Nous avons donc quatre phénomènes à expliquer : 1° le soulèvement de la fin de la systole; 2° la disparition de la clôture de la valvule sigmoïde; 3° la chute profonde du minimum de pression; 4° l'ondulation qui se produit au début de la période de réplétion des ventricules.

1° Soulèvement du tracé à la fin de la période systolique.

Ce phénomène doit s'expliquer par l'action énergique du ventricule gauche; nous avons la preuve de l'énergie de cette contraction dans les battements puissants des artères signalés plus haut. En effet, si l'on examine les tracés cardiographiques recueillis sur le cheval, et si l'on compare les tracés fournis par le cœur droit à ceux que donne le cœur gauche, on verra que les

systoles de ces deux cavités, quoique synchrones pour leur début et leur terminaison, diffèrent l'une de l'autre par le moment où se produit le maximum d'effort systolique. Le ventricule droit déploie dès le début son maximum de contraction ; le ventricule gauche ne le déploie qu'à la fin. Si donc l'action énergique du ventricule gauche se fait sentir dans ce tracé, elle doit se manifester à la fin de la période systolique et produire un soulèvement qui masque la période de descente du tracé. Nous prions le lecteur d'admettre cette interprétation, d'abord comme hypothèse, les preuves à l'appui ne pouvant être données que plus loin.

2° *Disparition de la clôture de la valvule sigmoïde.*

Les phénomènes qui se passent dans le cœur droit à la fin de la période systolique étant complétement masqués par ceux qui se passent dans le cœur gauche, on ne s'étonnera pas de voir disparaître la petite ondulation qui correspond à la clôture de la valvule sigmoïde de l'artère pulmonaire ; mais alors il faut que le tracé présente la clôture de la valvule sigmoïde de l'aorte. Or cette clôture se traduit dans le tracé, mais elle est située très-près du sommet de la période systolique. Tout à fait invisible dans la première pulsation au point C, on la voit s'accuser légèrement dans la deuxième pulsation ; elle se prononce de plus en plus dans les pulsations suivantes et est déjà assez nette dans l'avant-dernière, en C'. Si les dimensions de la figure nous avaient permis de représenter une plus grande longueur de tracé, on eût pu voir cette ondulation reprendre toute sa force normale au bout de quelques révolutions du cœur, et en même temps que le battement reprenait lui-même ses caractères normaux. Cette clôture prompte de la valvule sigmoïde est due aussi à la forte tension du système artériel. Quelle est, en effet, la cause de la clôture de la valvule sigmoïde ? C'est l'excès de la pression du sang des artères sur celui du cœur. Plus la tension artérielle sera forte, plus tôt se produira cette clôture ; car, dans ce cas, le relâchement ventriculaire n'aura pas besoin d'être complet pour que la tendance au reflux du sang artériel se manifeste ; dès que la systole ventriculaire commencera à faiblir, le reflux aura lieu et la valvule se

fermera. On comprend même qu'à un certain degré de forte tension artérielle, il devra n'exister aucune secousse dans l'occlusion de ces valvules, ce qui explique l'absence de tracé de leur clôture dans les premières pulsations de la figure 3. Alors, en effet, la systole du ventricule gauche rencontre dans ses derniers instants une telle résistance dans la tension artérielle, qu'elle est complétement contre-balancée par cette dernière; elle s'épuisera donc en un effort qui ne fera plus passer de sang dans l'aorte. Dès lors, dans ce sang immobile, les valvules pourront se replacer d'elles-mêmes dans la position de clôture, et le relâchement du ventricule les trouvera déjà fermées.

La réalité de ce fait ressortira clairement de la comparaison que nous ferons du tracé de la pulsation du cœur avec celui du pouls carotidien. Dans la présente figure, il y a eu arrêt de la respiration pour toute la durée du tracé. Le poumon devenant moins perméable au sang, le cœur gauche, à son tour, a reçu et envoyé moins de sang aux artères, la tension artérielle a baissé, et le claquement valvulaire s'est prononcé davantage, prenant peu à peu les caractères qu'on observe dans la figure 1, planche II.

3° *Chute profonde de la pression cardiaque après la systole ventriculaire.*

On devait s'attendre, après la puissante systole du ventricule gauche, à ce que la vacuité du cœur fût plus grande qu'à l'état normal et se traduirait par un abaissement considérable du tracé. Les fibres communes aux deux ventricules doivent en effet amener une évacuation très-complète du ventricule droit par l'effort violent que le cœur exécute dans ces conditions. La chute profonde représentée dans la présente figure est donc une conséquence nécessaire des phénomènes précédemment décrits. Nous trouvons ici le contraire de ce qui se passait dans l'expérience précédente, où l'arrêt de la respiration a donné la figure 2. Dans ce tracé, le cœur droit se vidait mal, et son évacuation incomplète se traduisait par une élévation graduelle des minima. On retrouve encore dans la figure 2, à la première pulsation,

un vestige de cette chute qui suit l'évacuation du ventricule, mais on voit peu à peu cette chute diminuer et disparaître dans les pulsations subséquentes, à mesure que les systoles deviennent moins complètes. Enfin, la figure 1, recueillie dans les conditions de la respiration normale, présente un intermédiaire entre les deux cas extrêmes que nous venons de comparer; de plus, comme les pulsations y sont influencées par la respiration, on peut voir que toutes les fois que l'action du ventricule gauche se fait sentir vers la fin de la période systolique, la chute de la pression est plus profonde que dans les conditions inverses.

4° *Ondulation qui se produit au début de la période de réplétion du ventricule.*

Ce mouvement D est intimement lié à la vacuité du ventricule, au moment où celui-ci est relâché. En effet, l'ondulation est produite par l'afflux subit du sang de l'oreillette dans le ventricule relâché. Plus le ventricule se sera complétement vidé, plus le sang s'y élancera avec force; aussi verrons-nous partout cette ondulation croître et décroître avec la vacuité du ventricule. Elle est à son maximum dans la figure 3, au commencement du tracé; elle existe à peine au début de la figure 2, et disparaît tout à fait dans cette dernière quand le ventricule se vide d'une manière incomplète. Il est naturel, en effet, que le sang de l'oreillette se précipite d'autant plus brusquement dans le ventricule que celui-ci est plus apte à le recevoir. C'est la loi générale qui règle la vitesse de l'afflux du sang; nous l'avons formulée à propos du pouls, en disant que celui-ci est d'autant plus prononcé que la tension des artères est plus basse, c'est-à-dire que ces vaisseaux se prêtent mieux à l'afflux du sang lancé par le cœur.

Cette brusque arrivée du sang de l'oreillette dans le ventricule n'est due qu'au retrait des parois élastiques de celle-ci, et au poids du liquide sanguin, elle n'en est pas moins fort analogue pour ces effets à la systole même de l'oreillette. Le flot de sang qui tombe dans le ventricule vide, et celui que l'oreillette chasse activement dans le ventricule déjà rempli ont à peu près la même

manifestation dans le tracé. Bien plus, on peut remarquer que ces deux phénomènes augmentent et diminuent dans les mêmes conditions, c'est-à-dire que si l'ondulation qui tient à l'irruption du sang de l'oreillette au début du relâchement ventriculaire est très-prononcée, il y aura également une forte ondulation quand viendra la systole de l'oreillette. Celle-ci, au contraire, sera très-peu sensible lorsque le ventricule, fortement rempli, ne pourra presque plus rien recevoir de la contraction auriculaire. C'est donc toujours le même effet lié à la même cause : petite pulsation si la tension est forte et résiste à l'afflux.

Enfin, un nouveau caractère auquel se reconnaît le plus ou moins de distension du cœur lorsqu'il est en relâchement, c'est l'obliquité plus ou moins grande de la ligne qui correspond à la période de relâchement et qui s'étend de la clôture de la valvule sigmoïde à la prochaine systole de l'oreillette. Si cette ligne s'élève sensiblement, elle annonce un accroissement de la pression sanguine dans le ventricule, ce qui prouve que cette cavité se remplit et, par suite, qu'elle s'était bien vidée. Si cette même ligne reste presque horizontale comme dans la figure 2, cela prouve que la réplétion du ventricule augmente peu pendant le relâchement et, par suite, qu'il s'était mal vidé pendant la période systolique.

On voit que, de déduction en deduction, nous sommes arrivé à déterminer avec précision la signification de chacun des éléments de ces courbes qui, au premier abord, paraissent fort compliquées, et que cette complication même n'est qu'une richesse de détails qui rend plus instructive l'analyse d'un tracé de la pulsation cardiaque.

QUATRIÈME EXPÉRIENCE. — *Influence de l'action musculaire sur la forme des battements du cœur.*

L'action musculaire est encore une des conditions qui modifient notablement la force et la forme de la pulsation cardiaque. Les sujets dont le battement du cœur se sent le plus faiblement à l'état normal peuvent presque tous fournir des pulsations énergiques s'ils se soumettent à un exercice plus ou moins violent. Ce fait est connu de tout le monde ; l'important était de montrer, dans

la figure 6, la forme que présente alors le battement du cœur. Les caractères principaux sont les suivants :

1° Faiblesse de l'effet de la systole auriculaire qui manque dans la plupart des cas.

2° Violence de la clôture des valvules auriculo-ventriculaires, accusée par l'amplitude des trois vibrations (1) qui l'accompagnent. (Cette clôture violente est, du reste, confirmée par l'auscultation qui fait entendre dans ces circonstances un renforcement du premier bruit du cœur.)

3° Soulèvement du tracé vers la fin de la période systolique, avec chute profonde indiquant que la déplétion du cœur est plus prononcée qu'à l'état normal. Après cette chute, nouveau soulèvement correspondant à l'afflux brusque du sang des oreillettes dans les ventricules bien vidés. (Tous ces signes sont communs avec le tracé, planche II, dans le texte, figure 3, recueilli après un effort d'expiration exécuté la glotte fermée.)

La figure que nous avons présentée ne montre qu'à un faible degré l'effet de l'activité musculaire sur le battement du cœur ; nous avons choisi ce tracé comme exprimant assez nettement l'influence musculaire, tout en rendant très-reconnaissables les caractères normaux de la pulsation.

On remarquera la curieuse influence que la respiration exerce sur la forme de la pulsation

Fig. 6. — Battement du cœur après un exercice musculaire.

(1) Les lecteurs qui ne connaissent pas la fidélité extrême avec laquelle nos appareils traduisent le mouvement qu'ils ont reçus attribueront sans doute aux vibrations du levier enregistreur ces violents mouvements du tracé, nous allons au-devant de cette objection en leur faisant remarquer que si les vibrations tenaient au levier lui-même, elles seraient nécessairement semblables entre elles dans deux pulsations consécutives. L'inspection de la figure montre au contraire que la forme de ces vibrations varie d'une figure à l'autre.

du cœur. Dans le cas représenté figure 6, les battements 2, 5, 8, se sont produits au commencement de l'inspiration ; ils sont tous trois semblables entre eux ; ils présentent une faible ondulation de la valvule auriculo-ventriculaire au début de sa clôture. Comme il y avait exactement trois battements du cœur pour un mouvement respiratoire, on voit périodiquement se reproduire les mêmes formes de trois en trois pulsations.

A la fin des première, quatrième et septième pulsations, l'effet de l'inspiration se traduit par une chute plus profonde de la pression dans le cœur au moment où il se relâche. Ce phénomène a été souvent observé par Chauveau et par nous dans les expériences cardiographique faites sur le cheval. Notons enfin qu'après cette chute profonde, la moindre vibration des valvules auriculo-ventriculaires s'explique très-naturellement par l'obstacle que la force systolique trouve dans l'inspiration elle-même. En effet, le vide intra-thoracique, s'accroissant par l'effet de l'inspiration, tend à mettre le cœur en diastole et, par conséquent, exige de la part des ventricules un effort plus violent, mais moins brusque, pour effectuer leur systole. De ce plus grand déploiement de force et de cette moindre brusquerie de la contraction nous paraît dépendre la forme particulière des pulsations qui se produisent alors.

D. — *De la synthèse des battements du cœur.*

Dans nos différentes recherches sur la circulation du sang, nous avons eu pour habitude de contrôler par la synthèse les théories qui paraissaient ressortir de l'analyse des phénomènes observés sur le vivant.

C'est ainsi que nous avons pu reproduire le pouls artériel avec ses principaux caractères, en imitant dans des appareils schématiques les conditions qui modifient les caractères du pouls. Nous avons déjà réalisé la synthèse des mouvements du cœur au point de vue de la fonction de cet organe, en construisant un appareil muni de valvules qui poussait des ondées de liquide dans un système de tubes représentant les vaisseaux. Cet appareil, mis en action, donnait naissance à des bruits semblables à ceux du cœur

lui-même, et produits, ainsi que cela se passe dans la nature, par le claquement des valvules. Enfin, en répétant sur ce cœur artificiel les expériences cardiographiques déjà faites sur les animaux, nous avons obtenu, pour l'expression de l'action du ventricule, le même tracé graphique qu'on obtient en opérant sur le ventricule d'un animal vivant (1). Mais la disposition même de ce schéma ne permettait pas d'obtenir les battements extérieurs dont nous étudions aujourd'hui le caractère et les différentes variétés. La présence d'une enveloppe de verre rendait tout à fait inaccessible

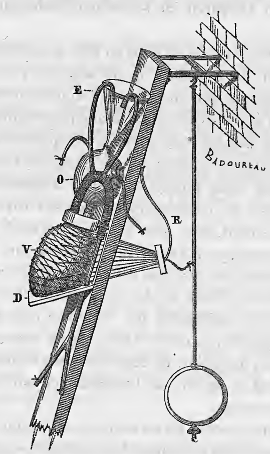


FIG. 7.

la surface extérieure du ventricule. Nous avons dû, pour les besoins présents, modifier la construction de l'appareil, et nous l'avons fait de la manière suivante.

Soit (fig. 7) deux ampoules de caoutchouc O et V. La première

(1) *Phys. méd.*, p. 194.

sera l'oreillette, la seconde le ventricule ; elles communiquent par un large tube muni d'une valvule qui sera la valvule auriculo-ventriculaire. Du ventricule sort un autre tube A qui correspond à l'aorte et se subdivise en artères. Ce tube, à son origine, porte une valvule comme la sigmoïde de l'aorte. Le liquide qui circulera dans ce système de vaisseaux artificiels se déversera dans un entonnoir E abouché avec l'oreillette. De cette façon, le même liquide peut se mouvoir indéfiniment dans ce circuit qui représente un appareil circulatoire simple, la grande circulation, par exemple. Tout l'appareil est solidement établi sur une longue planche.

Le ventricule est renfermé dans un filet de soie dont les mailles ont environ un demi-centimètre de largeur. A ces mailles sont fixés des cordonnets qui contournent l'ampoule de caoutchouc en divers sens, et se réunissent en faisceaux pour se diriger en arrière et traverser la planche qui supporte l'appareil en passant par deux fentes verticales à bords polis et glissants. Ces faisceaux de fils réunis vont nous fournir le moyen d'animer le ventricule et de lui donner des contractions alternantes rhythmées comme celles du cœur. Pour cela, nous adaptons les chefs réunis des fils à un ressort métallique R fixé sur la face postérieure de la planche, et qui n'a d'autre fonction que de les maintenir en place et très-faiblement tendus. Nous avons cru pouvoir nous dispenser de rendre l'oreillette contractile par le même moyen; en laissant inerte cette ampoule, on modifie très-peu les caractères du battement cardiaque, puisqu'on ne supprime dans ce battement que la part qu'y prend la systole de l'oreillette et qui ne saurait être perçue par le toucher.

Supposons maintenant qu'on exerce des tractions rhythmiques sur le faisceau de fils qui anime le ventricule, on obtiendra une sorte de contraction de cette cavité qui chassera une partie du liquide qu'elle renfermait. Au début de la contraction, la valvule mitrale se fermera avec bruit; la sigmoïde, au contraire, produira son claquement à la fin de la contraction. Une grande difficulté consiste à donner aux mouvements qu'on imprime à l'appareil le rhythme et la régularité parfaite des mouvements du cœur. Pour

se rapprocher le plus possible de cette régularité, nous avons fixé, derrière la planche sur laquelle l'appareil est monté, un pendule dont la lentille est fort lourde et dont la tige est liée par une forte corde au faisceau de fils réunis en R. Quand le pendule est au repos, cette corde est trop longue et n'exerce aucune traction. C'est seulement lorsque son oscillation l'éloigne de la planche que le pendule exerce une traction sur les fils. On aide avec la main les oscillations du pendule, et l'on obtient ainsi des contractions moins irrégulières que celles que produirait la main toute seule.

Si l'on examine ce cœur schématique en état de fonctionnement, on perçoit, en le palpant, les mêmes sensations que ressent le physiologiste lorsqu'il tient dans ses mains le cœur mis à nu d'un grand animal. Alors aussi les observateurs non prévenus croient sentir le cœur se remplir dans leurs mains lorsqu'ils ressentent son battement, tandis qu'en réalité, ce battement arrive au moment de la contraction du ventricule. Le doute est levé pour celui qui fait fonctionner lui-même l'appareil, et qui d'une main perçoit le battement, tandis que de l'autre il provoque la contraction.

Enfin, pour démontrer plus clairement l'identité de nature du battement produit dans ce schéma et de la pulsation du cœur d'un être vivant, nous avons recueilli le tracé graphique de la pulsation sur le schéma, en plaçant celui-ci dans des conditions qui imitent autant que possible celle de la nature, et nous avons obtenu, ainsi qu'on va le voir, un graphique qui rappelle fort bien celui que fournit le cœur de l'homme.

Expérience. — *Tracé graphique de la pulsation cardiaque obtenue sur le schéma.*

Au-dessous de l'ampoule qui représente le ventricule, est placée une planchette inclinée sur laquelle il repose et qui, par sa direction, imite la surface supérieure du diaphragme. D'autre part, au devant du ventricule, on place une autre planchette que nous n'avons pu représenter dans la figure 7, et qui correspond à la

paroi thoracique, elle porte une ouverture devant laquelle est tendue une épaisse membrane de caoutchouc. Cette membrane se trouve dans les mêmes conditions que les parties molles intercostales de la paroi thoracique. Comme elles, elle est en contact permanent avec la face antérieure du ventricule; comme elles aussi, elle transmettra à l'extérieur la pulsation de cet organe.

En effet, si nous appliquons le doigt sur la membrane de caoutchouc, nous percevrons nettement le battement qui se produit à chaque contraction, et si, au lieu du doigt, nous appliquons le stéthoscope mis en communication avec l'appareil enregistreur, nous obtenons le tracé représenté figure 8, et dans lequel on reconnaîtra facilement les principaux éléments de la pulsation du cœur.



Fig. 8.

La systole, brusque à son début, se retrouve dans cette figure comme dans celles qui ont été représentées plus haut, elle offre également les vibrations multiples qui accompagnent la clôture de la valvule auriculo-ventriculaire. La période d'état de la contraction du ventricule se traduit par la ligne horizontale du sommet de la pulsation, et enfin la chute de la courbe annonce le commencement du relâchement ventriculaire. La clôture de la valvule sigmoïde est souvent très bien marquée dans ce point; mais elle manque dans la figure représentée ici.

Immédiatement après la fin de la systole, on voit cette chute brusque de la courbe exprimant, comme on l'a vu à propos de la figure 3, planche II, que le ventricule s'est vidé abondamment; puis survient cette ondulation que nous avions attribuée à l'irruption soudaine du sang de l'oreillette dans le ventricule dont la tension a baissé. Le reste de la diastole présente une ligne ascendante qui indique que le sang passe graduellement de l'oreillette dans le ventricule et y élève la pression. C'est encore un carac-

tère que nous avons signalé dans les pulsations normales. Enfin devrait arriver la contraction de l'oreillette représentée par une ondulation légère presque immédiatement avant la nouvelle systole du ventricule. Mais, comme nous l'avons dit, nous n'avons pas cherché à reproduire cette contraction de l'oreillette.

On voit, en comparant ce tracé du schéma à ceux qui ont été recueillis sur le vivant, à la figure 9, par exemple, que la ressemblance est plus que suffisante pour prouver que nous avons bien réellement réussi à reproduire synthétiquement le phénomène de la pulsation cardiaque.



Fig. 9.

E. — *Emploi du schéma pour vérifier certaines déductions tirées de l'analyse des tracés du cœur.*

Il nous est arrivé plusieurs fois, dans le courant de ce mémoire, d'annoncer que certaines interprétations des courbes que nous représentions seraient confirmées ultérieurement par des preuves directes. Ces preuves, nous allons les trouver dans l'emploi du schéma sur lequel il est facile d'exécuter des expériences qui seraient probablement irréalisables sur l'animal vivant. Les points à vérifier sont ceux qui correspondent à la signification des différents détails de la courbe pendant la période de relâchement du ventricule

1° *La chute profonde qui suit le relâchement du ventricule.* — Cette chute de la courbe graphique, si marquée en la figure 3, planche II, et qu'on retrouve aussi dans la figure 9, nous a paru s'expliquer par la diminution de la masse du sang contenu dans le ventricule, lorsque celui-ci s'est vidé par une contraction efficace.

La pression, avons-nous dit, doit être d'autant plus basse, que

'évacuation du ventricule est plus complète, d'où ressort cette nouvelle déduction, qu'on empêcherait totalement cette chute de se produire si l'on empêchait le ventricule de se vider.

En expérimentant sur le schéma, on prévoit que si l'on comprime le tube qui représente l'aorte, à sa sortie du ventricule, de manière que le liquide ne puisse pas s'échapper de celui-ci, ce que l'on reconnaîtra à l'immobilité de la valvule aortique pendant la contraction ventriculaire, on devra supprimer, à la fin de la systole, la chute profonde qui correspond au début de la période diastolique. C'est ce qui arrive, en effet, comme on peut s'en convaincre par la figure 10. Dans ce tracé, après la période de contraction, la courbe retombe à un niveau qu'elle ne dépassera plus pendant toute la période de diastole. Il est donc évident que la pression du sang dans le ventricule, pendant sa période de relâchement, ne varie que d'une manière passive, s'abaissant suivant que le ventricule s'est plus ou moins vidé, s'élevant selon que l'oreillette ramène de nouveau sang au ventricule avec plus ou moins de vitesse et d'abondance.

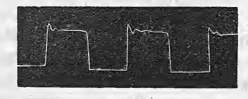


FIG. 10.

2° Après la chute brusque qui commence la période de diastole, on observe (fig. 3, pl. II) un *brusque soubresaut* qui ressemble à l'effet de la systole auriculaire. Nous l'avons expliqué en disant qu'il tenait à l'arrivée brusque du sang de l'oreillette, ondée sanguine qui tombait pour ainsi dire de son poids dans le ventricule fortement vidé. Cette opinion est pour ainsi dire déjà démontrée par ce fait que l'ondulation dont il s'agit n'existe que dans les cas où la profondeur de la chute diastolique prouve que le ventricule s'était vidé à un haut degré.

On peut ajouter à cette preuve une démonstration nouvelle tirée de l'emploi du schéma. D'abord on voit que dans la figure précé-

dente, l'ondulation dont il s'agit manque absolument, parce que le ventricule ne s'est pas vidé. Mais on conçoit de plus qu'il est possible de supprimer cette ondulation, même dans le cas où le ventricule se vide; il suffit pour cela de rendre l'orifice auriculo-ventriculaire plus étroit, de manière que le passage du sang de l'oreillette au ventricule ne puisse se faire que lentement. Si donc nous plaçons dans le tube qui représente l'orifice auriculo-ventriculaire un obstacle au courant du liquide, nous n'aurons plus qu'une ascension lente de la ligne de diastole, indiquant que la réplétion du ventricule se fait elle-même d'une manière lente et graduelle. Le tracé obtenu dans ces conditions est représenté figure 11.

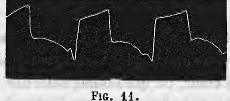


FIG. 11.

On pourra sans doute perfectionner beaucoup l'appareil schématique dont nous nous sommes servi, et reproduire plus fidèlement les phénomènes de la circulation cardiaque. Nous espérons que le lecteur ne considérera pas comme puériles ces tentatives d'imitation des phénomènes de la vie, mais qu'il verra dans cet emploi de la synthèse en physiologie un puissant moyen de contrôle de l'expérimentation.

F. — *Applications cliniques de l'étude graphique du battement du cœur.*

Nous n'avons fait qu'ébaucher l'étude des formes pathologiques que peut présenter le battement du cœur, mais nos premiers essais ont déjà confirmé ce que la physiologie nous avait fait prévoir : c'est-à-dire que le battement extérieur du cœur, toutes les fois qu'on peut l'enregistrer, doit donner une expression fidèle des troubles survenus dans la fonction de cet organe. On sait combien les moyens actuels d'observation clinique sont insuffi-

sants tant qu'il n'y a pas une lésion organique produite. L'auscultation ne révèle guère que les altérations valvulaires irrémédiables ; la percussion indique surtout les changements définitifs du volume du cœur ou la présence d'épanchements autour de cet organe. Combien plus précieux serait un moyen de reconnaître un simple trouble de la fonction cardiaque, trouble souvent léger au début, mais qui amènera peut-être plus tard une lésion incurable. L'accueil que les cliniciens de tous pays ont déjà fait à notre sphygmographe nous fait espérer qu'ils ne seront pas moins empressés à rechercher dans la cardiographie de nouveaux éléments de certitude dans le diagnostic.

CONCLUSIONS.

De ce premier travail ressortent les conclusions suivantes :

1° On peut, sur les animaux inférieurs, enregistrer directement les battements du cœur, ce qui donne, sous une forme objective, l'expression exacte de la fréquence, de l'intensité et de la forme de ces battements. Nulle autre méthode ne saurait permettre cette étude intéressante de physiologie comparée.

2° Sur les grands animaux et même sur l'homme, on peut, dans la plupart des cas, enregistrer le battement extérieur du cœur. Le tracé obtenu, éclairé par les expériences de cardiographie que nous avons faites avec Chauveau sur les animaux, permet de reconnaître les variations que subissent tous les phénomènes qui constituent une révolution du cœur.

3° La respiration agit sur les battements du cœur ; non-seulement elle fait onduler la ligne d'ensemble du tracé, mais elle donne aux pulsations qui se produisent pendant l'inspiration une amplitude et une forme différentes de celles qui correspondent à l'expiration.

4° L'arrêt de la respiration produit un ralentissement des battements du cœur et une diminution de leur intensité. Ces modifications s'expliquent par la difficulté plus grande du passage du sang au travers du poumon quand celui-ci ne respire pas.

5° Après un effort (tentative énergique d'expiration la glotte

étant fermée), les battements du cœur prennent des caractères particuliers. — Le ventricule gauche fait sentir fortement son action, et le sang de l'oreillette se précipite violemment au moment où commence la diastole.

6° L'exercice musculaire modifie aussi d'une manière spéciale le battement du cœur. La systole débute plus brusquement, et le ventricule se vide d'une manière plus complète.

7° On peut démontrer par la synthèse les propositions ci-dessus énoncées, en reproduisant artificiellement sur un cœur schématique le battement cardiaque avec les principaux caractères qu'il représente sur l'homme vivant.

8° La méthode graphique pourra être employée avec avantage au lit du malade; elle fournira sans doute une précieuse indication des troubles morbides que présente la fonction du cœur, puisqu'elle accuse les simples modifications de l'état physiologique.

PNEUMOGRAPHIE.

ÉTUDE GRAPHIQUE DES MOUVEMENTS RESPIRATOIRES ET DES INFLUENCES QUI LES MODIFIENT.

Lorsque K. Vierordt eut publié, en 1855, ses recherches sur la forme du pouls étudié d'après la méthode graphique, le savant physiologiste de Tubingen comprit que l'on pouvait étendre davantage l'emploi des appareils enregistreurs. Bientôt, en effet, il fit paraître, avec la collaboration de G. Ludwig, un travail sur les mouvements respiratoires (1). Les auteurs de ce mémoire recueillirent les tracés des mouvements du thorax pendant la respiration; ils expérimentèrent sur eux-mêmes et sur plusieurs sujets de différents âges.

Nous avons voulu étudier également les caractères graphiques des mouvements respiratoires; mais nous avons cherché surtout à déterminer les influences qui font varier le rhythme, la fré-

(1) Vierordt et G. Ludwig. *Beitrage zur Lehre von den athembemegungen* (*Arch. für Physiologische Heilkunde*, 1855, t. XIV, p. 253).

quence et l'amplitude de ces mouvements à l'état sain, afin d'avoir, dans ces notions physiologiques, un guide qui nous permît de saisir la cause des perturbations que la respiration présente dans les maladies. Pour bien faire comprendre la tendance de nos recherches, nous commencerons par exposer brièvement ce qui avait été fait par les auteurs qui viennent d'être cités.

Ces physiologistes ont employé dans leurs recherches le sphygmographe de Vierordt. Le sujet mis en expérience était couché sur le dos, et l'on appuyait sur son sternum le bouton qui, dans l'exploration du pouls artériel, repose sur le vaisseau. La grande branche du sphygmographe traçait sur le cylindre du kymographion la courbe des mouvements respiratoires. Cette courbe s'analysait de la manière suivante : On appréciait la fréquence des respirations en évaluant leur nombre pour une durée connue et toujours la même; cette durée correspondait à un tour complet de cylindre, par exemple. D'autre part, on mesurait exactement la durée des inspirations, des expirations et des pauses qui les séparent. Pour cela, on projetait chacun de ces éléments d'une courbe respiratoire sur la ligne des abscisses, c'est-à-dire sur la ligne horizontale qui représente la circonférence du cylindre.

Enfin, l'amplitude des mouvements s'évaluait en mesurant la hauteur verticale qui séparait le maximum du minimum de chaque courbe, autrement dit par la projection de cette courbe sur la ligne des ordonnées. MM. Vierordt et G. Ludwig cherchèrent d'abord à déterminer la *capacité vitale* de chacun des sujets mis en expérience. Pour cela, ils faisaient faire une inspiration aussi profonde que possible, puis une expiration aussi complète qu'il se pouvait. Le cylindre étant immobile pendant ce temps, le levier du sphygmographe traçait un grand arc de cercle. Par les deux extrémités de cet arc, on menait deux lignes horizontales et par conséquent parallèles; l'écartement de ces deux lignes était la mesure graphique de la capacité vitale du poumon. Ces deux points de repère une fois établis, on pouvait, dans un tracé des mouvements respiratoires, savoir si la poitrine, en s'emplissant et en se vidant, se rapprochait plus ou moins des limites de sa capacité vitale.

Vierordt et G. Ludwig firent plus : ils voulurent déterminer la relation qui existe entre l'amplitude d'une courbe respiratoire et la quantité d'air mis en mouvement par la respiration au même moment. Ils employèrent le spiromètre à la mesure des volumes d'air, et conclurent de leurs expériences que *la hauteur des courbes est sensiblement proportionnelle à la quantité d'air inspirée.*

Enfin, comparant l'amplitude des mouvements respiratoires avec leur fréquence, ils tirèrent cette autre conclusion, que *la poitrine se dilate d'autant moins que la respiration est plus fréquente.*

Ce sont là les deux principales conclusions qui ressortent du travail des deux auteurs allemands; le reste de ce mémoire consiste surtout en tableaux des durées et des amplitudes de chacune des inspirations et des expirations dont le tracé a été pris : de ces mesures il est difficile de tirer autre chose que des moyennes qui ont peu de valeur, car elles ne peuvent s'appliquer à aucun cas particulier. On va voir, en effet, qu'il n'y a rien d'absolu dans la durée relative des inspirations et des expirations, et que si, d'une manière générale, on doit admettre que l'inspiration est le temps le plus court, il peut arriver telle influence qui renverse complétement ce rapport de durée.

. . .

En entreprenant à notre tour des expériences sur ce sujet, nous nous sommes proposé de rendre ce procédé aussi simple que possible, afin qu'il puisse entrer dans la pratique médicale. Mais avant toute étude clinique, nous avons cru indispensable de rechercher les conditions physiologiques qui modifient les caractères des mouvements respiratoires, c'est-à-dire leur fréquence, leur amplitude et la durée relative de leurs différents éléments. Enfin, nous avons recherché les relations qui existent entre la fréquence de la respiration et celle des battements du cœur, afin de savoir si quelque influence physiologique ne modifierait pas le rapport qui existe habituellement entre ces deux fonctions si intimement liées l'une à l'autre.

A. — *Description des appareils destinés à enregistrer la respiration.*

Le cardiographe déjà connu n'a besoin que d'une très-légère modification pour pouvoir enregistrer les mouvements respiratoires. Il suffit de substituer au stéthoscope que l'on applique sur le cœur un petit instrument qui va être décrit et qui reçoit de la cage thoracique les mouvements qu'il transmettra à l'enregistreur. Voici cet instrument, que nous désignerons sous le nom de *cylindre élastique.*

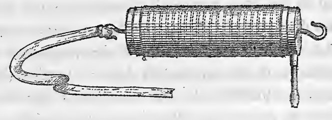


Fig. 12.

Ce cylindre (fig. 12) se compose d'un ressort à boudin enveloppé d'un tube de caoutchouc mince. Aux deux extrémités, se trouvent deux rondelles métalliques sur lesquelles le tube de caoutchouc est lié circulairement. Chacune de ces rondelles porte à son centre un crochet. Enfin, un tube de petit diamètre est branché perpendiculairement sur l'une des extrémités du cylindre et fait communiquer sa cavité avec l'air extérieur.

Si l'on fixe un cordon à l'un des crochets de l'appareil et qu'on se le passe autour du corps, à la manière d'une ceinture, pour le fixer ensuite à l'autre crochet, on verra qu'à chaque mouvement respiratoire le cylindre s'allonge pendant les inspirations, et revient sur lui-même pendant les expirations. Ce petit appareil reproduira donc les mouvements de la cage thoracique elle-même ; le tube latéral qu'il porte aspirera l'air extérieur pendant les inspirations, et l'expulsera pendant les expirations.

Si l'on adapte à ce tube le tuyau de caoutchouc qui transmet les mouvements de l'air au cardiographe, on verra le levier de l'appareil exécuter des mouvements de descente et d'ascension,

suivant que la poitrine se dilate ou se resserre, et il se produira sur l'enregistreur des courbes qui exprimeront la forme des mouvements respiratoires.

Pour comprendre la signification de ces courbes, suivons par la pensée les mouvements qu'exécutent de proche en proche les différentes pièces de l'appareil pendant une respiration. — Au moment de l'inspiration et pendant toute sa durée, la poitrine se dilatera, la ceinture s'allongera dans le seul point où elle soit élastique, c'est-à-dire le cylindre figure 12 ; celui-ci aspirera par le tube de transmission l'air du tambour du cardiographe; dès lors la membrane du tambour s'affaissera, et le levier qui repose sur elle descendra. — Dans l'expiration, la poitrine diminuant de diamètre, le cylindre se resserrera, et refoulant l'air dans le tambour, soulèvera le levier. Dans chaque courbe, l'ascension correspondra donc à l'expiration, la descente à l'inspiration.

Les tracés se lisent de gauche à droite, comme dans l'écriture ordinaire (1).

On peut, sur un même enregistreur, adapter en même temps plusieurs leviers, dont chacun est en rapport avec un cylindre élastique particulier. Cette disposition permet de comparer, dans leurs formes et dans leurs rapports de synchronisme, les mouvements du thorax et ceux de l'abdomen.

Enfin, on peut enregistrer à la fois les mouvements respiratoires et les battements du cœur, en appliquant sur celui-ci le stéthoscope précédemment décrit.

Un appareil électrique pointe les secondes sur le papier, ce qui permet d'apprécier exactement les durées des phénomènes enregistrés. Cette précaution est superflue quand on a déterminé la vitesse de translation du cylindre et qu'on l'a réglée une fois pour toutes.

Avec ces dispositions, le sujet en expérience n'est plus forcé de se tenir couché sur le dos, comme dans les expériences de Vierordt et G. Ludwig; il peut prendre toutes les attitudes qu'il

(1) Nous signalons ce fait au lecteur, parce que dans les figures représentées par Vierordt les tracés se lisent de droite à gauche.

lui plaît, ce qui permet d'étudier l'influence de chacune d'elles. De plus, un expérimentateur peut, sans aide, recueillir sur lui-même les tracés des mouvements de la respiration, ce qui est un grand avantage. Du reste, l'appareil de Vierordt ne présentait aucune défectuosité capable d'altérer les résultats de l'expérience (1). Il était seulement d'un emploi moins commode.

B. — *Analyse d'un tracé de la respiration.*

La figure 13 représente des tracés des mouvements respiratoires avec indication des durées et des amplitudes de chacun de leurs éléments, ainsi que de la fréquence des battements du cœur pendant le même temps.

Les deux premières lignes superposées sont produites par les mouvements respiratoires : la ligne T est fournie par les mouvements du thorax, la ligne A par ceux de l'abdomen.

La ligne C est donnée par les battements du cœur.

La ligne S est tracée par l'appareil qui pointe les secondes sur le papier. Nous avons réglé la translation de celui-ci de telle sorte que la seconde fût représentée par une fraction simple de l'unité de longueur. C'est le demi-centimètre qui représente la seconde dans les expériences faites sur la respiration.

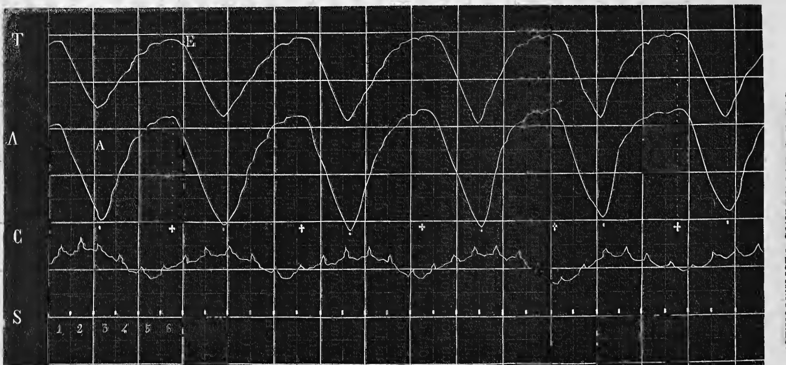
Analysons maintenant les courbes représentées dans cette figure (2).

Courbe T, fournie par les mouvements du thorax.

Voici comment on détermine la *durée* de l'inspiration et celle de l'expiration dans chaque courbe.

(1) Les reproches que nous avons cru devoir faire au sphygmographe de cet auteur ne s'appliquaient qu'à son impuissance à signaler des mouvements très-rapides, comme le seraient ceux du pouls ou des battements du cœur ; mais nous ne doutons pas que cet appareil ne donne un tracé fidèle des mouvements, assez lents d'ordinaire, qu'éprouvent, dans la respiration, les parois du thorax ou de l'abdomen.

(2) Dans la figure 13 on remarque des dentelures nombreuses, surtout pendant la période d'expiration. Ces saccades de la courbe sont produites par l'ébranlement que les battements du cœur amènent dans les parois du thorax et de l'abdomen.



Tracés respiratoires pris pendant une demi-minute : T, tracé des mouvements thoraciques ; A′, fin de la première inspiration ; E, fin de la première expiration ; A, tracé des mouvements abdominaux ; au-dessous de ceux-ci se trouve une série de points et de croix qui, par leur écartement relatif, indiquent les rapports de durée des différentes phases de chaque respiration ; C, tracé des battements du cœur avec influence respiratoire de sens renversé ; S, ligne tracée par le pointage des secondes.

Fig. 13.

Il est évident, d'après ce qui a été dit de la disposition de l'appareil, que l'inspiration ne peut se traduire que par une ligne descendante. La première inspiration de la courbe T se fera donc depuis le début jusqu'au point A, où la ligne cesse de s'abaisser. L'expiration se fera de A en E et ainsi de suite. Sur l'une quelconque des lignes horizontales ou abscisses, plaçons des repères directement au-dessous des points qui correspondent aux limites des inspirations et des expirations, la ligne sera partagée en longueurs proportionnelles à la durée de chacun des mouvements respiratoires exécutés. Au-dessous de la fin de l'expiration, c'est-à-dire au-dessous du summum de chaque courbe, on place une petite croix; au-dessous du minimum, on place un point. Dès lors, en comptant de gauche à droite, tout intervalle entre un point et une croix représentera une expiration; tout intervalle entre une croix et un point correspondra à une inspiration. On pourra donc évaluer tout de suite la durée de chacune de ces périodes d'après le nombre de divisions millimétriques qu'elles renferment. Un procédé plus facile et plus sûr dans l'appréciation des durées relatives de chacune des deux périodes de la respiration, consiste à prendre leur durée moyenne pendant une minute. Pour cale, on ajoute sur une règle graduée toutes les longueurs correspondant aux inspirations, et si un nombre entier de respirations y est contenu, on n'a qu'à retrancher la longueur trouvée de 30 centimètres (longueur qui correspond à une minute), et le reste exprime la durée totale des expirations. Il suffit ensuite de diviser chacune de ces durées totales par le nombre des respirations, et de pousser cette division jusqu'à la seconde décimale pour avoir la durée moyenne d'une inspiration ou d'une expiration avec une approximation bien suffisante. Cette recherche de la durée moyenne de chaque phase de la respiration peut se faire avec assez de rapidité, pour peu qu'on en ait l'habitude.

Rhythme de la respiration. — L'inspiration et l'expiration sont les deux divisions vraiment naturelles du mouvement respiratoire. Plusieurs auteurs ont admis, en outre, des pauses à la fin de chacun de ces deux temps : la pause la plus longue succéderait à l'inspiration. Cette distinction est factice. S'il est vrai qu'à la

fin de l'inspiration la poitrine semble s'arrêter un instant en dilatation, cependant l'immobilité des parois thoraciques n'est pas complète ; on peut s'en convaincre à l'inspection des tracés qui ne présentent jamais de ligne horizontale, mais seulement un ralentissement dans l'ascension. Quant à la pause qui succéderait à l'inspiration, moins prononcée que la précédente, de l'aveu de tous les auteurs, l'examen des tracés montre qu'elle est encore moins réelle.

On comprend que l'amplitude de la respiration s'évalue par la hauteur verticale de l'inspiration ou de l'expiration que l'on veut mesurer. C'est du maximum au minimum d'une courbe que se mesure l'amplitude de l'inspiration ; celle de l'expiration s'évalue du minimum au maximum de la même courbe. Ces amplitudes ne sont pas toujours les mêmes pour chaque respiration, mais leur inégalité finit par se compenser au bout de quelques instants, sans quoi la ligne d'ensemble s'élèverait ou s'abaisserait.

L'amplitude d'un tracé respiratoire, comme celle d'un tracé du pouls, a peu de valeur par elle-même ; elle peut varier sous différentes influences indépendantes de l'énergie des mouvements respiratoires observés. Ainsi, le mode d'application de la ceinture, sa tension plus ou moins grande, la sensibilité de l'appareil à levier, etc., la font varier. Mais une fois que l'appareil est adapté sur le sujet mis en expérience, l'amplitude reste fixe si la respiration est régulière, et ne se modifie qu'autant que les mouvements respiratoires se modifient eux-mêmes. On peut donc, par la comparaison des amplitudes de différentes courbes d'un tracé, déduire l'amplitude comparative des divers mouvements qui les ont produites. Mais il n'y a rien d'absolu dans la signification de l'amplitude d'un tracé, tant qu'on n'a pas déterminé expérimentalement le volume d'air mis en jeu par la respiration correspondante.

La ligne d'ensemble du tracé peut, sous certaines influences, s'élever ou s'abaisser. Ces modifications portent sur l'altitude du tracé, elles ne nous occuperont pas ici ; disons toutefois que l'étude des changements d'altitude de la courbe respiratoire permet de constater que, dans certaines conditions, un sujet respire

avec la poitrine presque toujours pleine d'air, tandis que dans d'autres cas son thorax est affaissé en expiration.

Ces arides préliminaires une fois établis, passons aux expériences relatives aux conditions qui influencent les mouvements respiratoires dans leur fréquence, leur rhythme et leurs rapports de nombre avec les mouvements du cœur.

C. — *Rapport des mouvements respiratoires du thorax avec ceux de l'abdomen.*

L'une des premières questions qu'on ait à se poser avant d'instituer des expériences sur la forme graphique des mouvements respiratoires est celle-ci : En quel point faut-il appliquer la ceinture destinée à recevoir ces mouvements ; est-il indifférent de l'appliquer sur le thorax ou sur l'abdomen ?

Pour résoudre cette question, nous avons recueilli simultanément, avec deux appareils semblables, les courbes fournies par les mouvements thoraciques et celles que donnent les mouvements abdominaux. Nous avons vu. dans toutes nos expériences, que les tracés obtenus sont sensiblement parallèles. La seule différence qu'on rencontre ordinairement porte sur l'intensité du mouvement, c'est-à-dire l'amplitude de la courbe tracée dans les deux cas. La figure 13 représente, ligne T, un tracé fourni par les mouvements thoraciques, et ligne A un tracé des mouvements abdominaux. La seule différence notable entre ces deux ordres de courbes consiste en une amplitude plus grande de celle de l'abdomen. On eût pu, dans ce cas, diminuer la sensibilité (1) de l'appareil à levier correspondant aux mouvements abdominaux, et l'on eût eu deux tracés identiques, parfaitement superposables.

Peut-être ce parallélisme des mouvements thoraciques et abdominaux n'est-il pas constant, même à l'état physiologique ; il

(1) On fait varier la sensibilité de l'instrument, c'est-à-dire l'amplitude du tracé fourni par un mouvement quelconque, en faisant avancer ou reculer le tambour avec l'arête qui soulève le levier, de manière que celle-ci agisse plus ou moins près de l'axe de rotation de ce levier. Plus l'arête est rapprochée de cet axe, plus les tracés ont d'amplitude.

faudra multiplier les recherches à cet égard. En tout cas, on peut, sous l'influence de la volonté, modifier le rapport des mouvements thoraciques et abdominaux jusqu'à les rendre alternant. Mais ce n'est point là un type normal de la respiration; le parallélisme de ces mouvements nous a paru constant à l'état normal (1).

Il résulte de là que le point auquel on devra appliquer la ceinture pour recueillir les mouvements respiratoires est indifférent. La seule indication est de choisir le point où ces mouvements ne soient ni trop forts ni trop faibles pour s'enregistrer facilement.

D. — *Rapport des mouvements respiratoires avec ceux de l'air respiré.*

Cette question présente une grande importance et ne peut se résoudre à priori; en effet, il serait bien possible que les mouvements de la respiration n'eussent pas toujours une efficacité proportionnelle à leur amplitude, c'est-à-dire que l'air expiré ou inspiré ne correspondît pas exactement à l'étendue du déplacement d'un point de la poitrine ou de l'abdomen. A certains moments, la dilatation thoracique pourrait être neutralisée par quelque mouvement inverse, comme l'enfoncement des espaces intercostaux ou la diminution du diamètre longitudinal de la poitrine. Pour déterminer s'il en était ainsi dans les conditions normales, nous avons procédé de la manière suivante.

En même temps que s'enregistraient les mouvements de la poitrine, nous avons recueilli un autre tracé exprimant les rapports de volume de l'air qui entrait dans la poitrine et qui en sortait à chaque instant.

A cet effet, on prend un grand réservoir d'une capacité de 200 litres environ, on adapte à son embouchure deux tubes, l'un très-large, qui se place dans la bouche pour respirer, l'autre plus étroit, qui se rend au tambour d'un enregistreur. A chaque inspi-

(1) Il est possible que certains états pathologiques modifient beaucoup le rapport des mouvements thoraciques et abdominaux. Qu'arriverait-il, par exemple, dans un cas de paralysie du diaphragme? C'est un nouveau sujet d'études cliniques que nous n'avons pas encore pu entreprendre.

ration, l'air du réservoir se raréfie, et cette raréfaction, transmise par le tube au tambour de l'appareil, produit un abaissement du levier; à chaque expiration, cet air est comprimé et le levier s'élève.

Si l'on sensibilise les deux instruments enregistreurs de manière à donner la même amplitude aux deux tracés, on voit que ceux-ci sont parfaitement superposables; d'où l'on peut conclure que les mouvements extérieurs de la respiration ont une intensité proportionnelle aux quantités d'air que la poitrine aspire ou expulse à chaque instant (1).

Ce parallélisme entre les mouvements thoraciques et les mouvements de l'air respiré n'est parfait que dans les conditions de liberté complète de la respiration. Pour que le volume d'air appelé dans le thorax ou chassé au dehors soit en relation directe avec l'action musculaire qui s'est produite, il faut que le passage de cet air soit assez large pour lui présenter une résistance insignifiante. Si, par exemple, au moment d'une expiration puissante, l'air ne trouve pas une issue facile, cet air sera comprimé dans le poumon et perdra de son volume, ce qui permettra à la cage thoracique de se resserrer plus que ne le comporte le volume de l'air expiré. Inversement, dans une inspiration énergique, la poitrine pourra se dilater en raréfiant l'air contenu dans le poumon.

Poussons à l'extrême ces conditions de difficulté au passage de l'air, et supposons, pour rendre le phénomène plus sensible, que les voies aériennes soient complétement fermées : la poitrine pourra encore exécuter quelques mouvements de dilatation et de resserrement, mais ceux-ci n'auront d'autre effet que de raréfier et de condenser l'air qu'elle renferme. La cavité thoracique présente donc, dans ses conditions mécaniques, une différence fondamentale avec les cavités cardiaques; celles-ci, en effet, agissent

(1) On pourrait croire que le mouvement de l'air qui s'échappe de la poitrine ne doit pas se transmettre d'une manière instantanée à travers le vaste réservoir et le tube de caoutchouc jusqu'au levier de l'enregistreur; mais nous avons pu constater que cette transmission est parfaitement instantanée, et que toute saccade produite dans les mouvements thoraciques se traduit par une saccade simultanée dans le tracé des mouvements de l'air. Il faut en excepter toutefois les légers mouvements produits dans le tracé des mouvements thoraciques par les battements du cœur.

dans leurs diastoles et leurs systoles sur un fluide incompressible et non dilatable, de telle sorte que le changement de volume du cœur correspond toujours à une diminution ou à une augmentation réelle de son contenu, tandis que, dans l'appareil respiratoire, le fluide sur lequel agissent les mouvements thoraciques est éminemment compressible.

La figure 14 représente le tracé des mouvements thoraciques

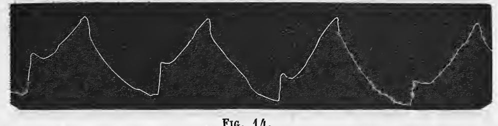


Fig. 14.

obtenus en respirant par un tube très-étroit. On y voit d'abord une ascension brusque, qui veut dire que le resserrement du thorax s'est produit en comprimant l'air contenu dans le poumon, puis, l'ascension devient lente ce qui exprime que toute contractation nouvelle est impossible, à moins qu'il ne sorte de l'air par le tube, ce qui se fait très-lentement. A partir du sommet, la chute brusque exprime une raréfaction de l'air du poumon par les forces inspiratrices, puis la descente se continue lentement, par suite du passage de l'air inspiré au travers du tube.

E. — *Des volumes d'air inspirés et expirés, évalués par la méthode graphique.*

Un seul point est prouvé jusqu'ici : c'est que les mouvements respiratoires ont des effets proportionnels à leur intensité. Ainsi l'on peut, à l'inspection de la courbe, reconnaître à quel moment l'air pénètre dans la poitrine avec plus d'abondance ; à quel moment son mouvement s'arrête ou change de direction. Mais ces mêmes tracés peuvent-ils nous donner une idée du volume absolu de l'air entré dans le poumon ? c'est ce qu'il s'agit de déterminer.

Soit un tracé des mouvements de l'air inspiré et expiré obtenu à l'aide du réservoir précédemment décrit ; il est facile de déter-

miner la quantité d'air qui a été mise en mouvement par chaque respiration. Il suffit pour cela de déterminer quel est le volume d'air qui, foulé dans le réservoir, produit un élévation du levier correspondante à celle qui existe dans le tracé.

Pour cela, on met le réservoir en communication avec le tube insufflateur du spiromètre à cloche de Hutchinson, et l'on presse sur la cloche jusqu'à ce que l'air expulsé ait soulevé le levier enregistreur au niveau du maximum de la courbe qu'on évalue. On note sur la graduation de la cloche le niveau de l'eau à ce moment; on soulève ensuite la cloche jusqu'à ce que le levier soit redescendu au niveau du minimum de la courbe, et l'on note de nouveau le niveau de l'eau. De ces deux notations extrêmes se déduit le volume de l'air qui est passé du réservoir dans la cloche pour produire l'écart du levier, dont on cherchait la valeur en litres et centilitres d'air.

Il est déjà évident que ce volume est identique avec celui qui a été chassé du poumon dans l'expiration.

Mais on a vu tout à l'heure que le tracé recueilli d'après les mouvements de la poitrine est parallèle au tracé recueilli par les mouvements de l'air. On pourra donc, d'après le tracé des mouvements thoraciques, évaluer le volume d'air mis en mouvement en un temps donné, pourvu qu'on ait déterminé le volume d'air correspondant à l'une des respirations (1).

Cette méthode permettra donc d'évaluer les volumes d'air mis en action dans les différentes formes de la respiration et d'apprécier l'activité de la fonction respiratoire dans diverses circonstances. Pour apprécier le volume d'air mis en mouvement en un

(1) Une objection pourrait être élevée contre cette méthode; elle est relative à l'influence de la température sur le volume de l'air soumis à la respiration, cette température n'étant pas la même dans le poumon et dans le réservoir. Mais l'air qui s'est échauffé dans le poumon, et qui s'y est dilaté, perdra cette augmentation de volume dans le réservoir, s'il s'y refroidit complétement; il reprendra donc au retour le volume qu'il avait au départ. Or l'expérience montre que ce refroidissement doit s'opérer très-vite. En effet, si l'air s'échauffait dans le réservoir après quelques respirations, on verrait la courbe, dans son ensemble, s'élever peu à peu quand on enregistre les mouvements de l'air, ce qui ne s'observe qu'à un degré très-faible et négligeable. On peut donc assez fidèlement évaluer d'après un tracé les quantités d'air mis en mouvement.

temps donné, on additionnera les valeurs de chacune des respirations contenues dans une même longueur de tracé. Si la respiration est régulière, ce qui est le cas le plus fréquent, il suffira de multiplier le volume d'air inspiré dans un cas par le nombre des respirations.

FRÉQUENCE ET RHYTHME DE LA RESPIRATION A L'ÉTAT NORMAL.

On ne saurait attribuer aux mouvements respiratoires un type normal, et mille influences les font varier. Il en est de la respiration comme de la circulation du sang : l'attitude, l'action musculaire, la température, l'ingestion des aliments, etc., influent sur l'une et l'autre de ces fonctions. Pour la respiration, la volonté s'ajoute encore aux causes de changements ci-dessus indiquées, permettant, pour les besoins de la phonation ou de l'action musculaire, de diriger arbitrairement ou de suspendre au besoin, pour quelques instants, les mouvements de la cage thoracique. Ces influences perturbatrices seraient très-gênantes dans l'expérimentation, si l'on ne pouvait les éliminer d'une manière à peu près complète. Il suffit pour cela de détourner son attention du tracé qui s'enregistre automatiquement et même de s'appliquer à quelque autre chose qui nécessite une certaine contention d'esprit. Dès lors, la respiration, réduite à l'état de fonction organique, ne subit plus d'autre influence que celle des conditions plus ou moins complexes dans lesquelles on se trouve, et dont nous essayerons de déterminer les effets. En clinique, les sujets mis en expérience ne doivent pas être prévenus de ce qu'on attend d'eux. Pour un grand nombre de malades, la prostration dans laquelle ils sont plongés met l'expérience à l'abri de toute influence volontaire.

Avant de quitter ce sujet, disons quelques mots des effets que certains actes volontaires peuvent produire dans la respiration. L'acte de lire à haute voix la modifie profondément. Comme l'expiration est le seul temps actif pour la phonation, l'homme qui lit emplit la poitrine le plus vite possible, et ménage autant qu'il peut le volume de l'air qu'il expulse, afin de prolonger autant que

possible la durée des sons émis. De là une modification importante du rhythme dans lequel l'inspiration est beaucoup plus courte et l'expiration beaucoup plus longue qu'à l'état normal. Prenons pour type normal les durées suivantes obtenues dans un cas : inspirations, 100; expirations, 200. Pendant la lecture à haute voix, le rhythme a été le suivant : inspirations, 40; expirations, 260. Le chant modifie souvent encore plus le rhythme de la respiration, il a donné les rapports suivants : inspirations, 18; expirations, 282.

On peut suspendre sa respiration pendant plus ou moins longtemps, 30 à 40 secondes en inspiration, 25 à 30 en expiration. On peut volontairement en précipiter le mouvement et le porter jusqu'à 120 et plus par minute.

En présence de pareils troubles apportés par la volonté dans le rhythme de la respiration, on se demande s'il est possible d'éliminer entièrement ses effets. A cela on peut répondre que oui et en fournir la preuve. En effet, si l'on respire pendant une minute de la manière automatique dont nous avons parlé, et qu'on partage le tracé en deux parties égales de 30 secondes chacune, on voit que chacune des deux moitiés renferme sensiblement le même nombre de respirations, et que la durée relative des inspirations et des expirations est en moyenne sensiblement la même dans les deux moitiés du tracé. On s'étonnerait souvent de la frappante concordance des rapports résultant de cette comparaison, si l'on n'avait vu, dans les expériences faites sur les mouvements du cœur, des exemples nombreux de la régularité d'une fonction de la vie organique.

Comme les caractères les plus intéressants de la respiration sont la fréquence et le rhythme, c'est-à-dire la durée relative des inspirations et des expirations, commençons par étudier ces deux caractères. Il n'existe pas d'état normal pour la fréquence et le rhythme des respirations, mais il est facile de déterminer les conditions qui agissent pour modifier cette fréquence et ce rhythme. Pour bien mettre en évidence la variabilité des mouvements respiratoires, il nous suffira de donner un tableau de la fréquence et

du rhythme de la respiration prises sur nous-même à des jours différents et même à de plus courts intervalles.

Ce tableau renferme les relevés de deux séries d'expériences graphiques. Pour chaque expérience, le numéro d'ordre est indiqué par une lettre. — Chaque expérience dure une minute, pendant laquelle il chemine une longueur de papier de $0^{m},30$. A chaque seconde, il passe donc $0^{m},005$ de papier. — Les durées des inspirations et des expirations sont évaluées en millimètres.

1er TABLEAU.

	PREMIÈRE SÉRIE.				DEUXIÈME SÉRIE.		
	Nombre des respirations	DURÉE TOTALE des inspirations.	DURÉE TOTALE des expirations.		Nombre des respirations	DURÉE TOTALE des inspirations.	DURÉE TOTALE des expirations.
A.	19	101	199	A.	18,5	130	170
B.	21,5	119	181	B.	20,5	139	161
C.	24	130	170	C.	21	132	168
D.	18	100	200	D.	17	117	183
E.	19	104	196	E.	16	119	181
F.	14,8	95	205	F.	11,4	126	174
G.	18,5	104	196	G.	14,5	134	166
H.	14,6	105	195	H.	11	128	172
I.	17,6	126	174	I.	11,3	139	161
K.	11,8	126	174	K.	11,2	135	165
L.	15,2	136	164	L.	16	140	160
M.	16	124	176	M.	12	143	157
N.	14,2	148	152	N.	13,8	154	146
O.	14,5	120	180	O.	10,5	132	168
P.	13	87	213	P.	9,2	110	190
Q.	12,8	107	193	Q.	9,2	110	190
	MOYENNE GÉNÉRALE POUR UNE MINUTE.						
	16,3	114	186		14	131	169
	DURÉE MOYENNE EN MILLIMÈTRES, DE CHAQUE.						
	18,40	6,99	11,41		21,43	9,36	12,07

Si l'on se borne aux expériences qui forment la première série, on voit que la fréquence moyenne de la respiration dans les

conditions normales a été de 16,3 par minute, ce qui porte sa durée moyenne à 1 seconde 84/100, soit en millimètres 18mm,40. On voit aussi que cette moyenne est tirée de chiffres qui présentent de grands écarts : ainsi, pour le nombre des respirations en une minute, c'est-à-dire pour la fréquence des respirations, on trouve un écart de 11 à 24, c'est-à-dire plus que du simple au double. Pour la durée moyenne des inspirations, elle a varié de 87 à 148 millim.; l'expiration enfin a varié de 152 à 213 millim.

La discordance des mesures obtenues dans différentes expériences montre bien l'inutilité de la recherche d'une moyenne. Cette incohérence résulte de l'influence de différentes conditions dont il n'a pas été tenu compte; elle va disparaître en partie, si l'on compare entre elles des expériences faites dans des circonstances déterminées. Ainsi, étudions l'influence qu'exerce sur la fréquence et le rhythme de la respiration le plus ou moins de liberté du passage de l'air, et nous allons voir que, dans tous les cas, il surviendra un changement de même nature dans cette fréquence et dans ce rhythme.

INFLUENCES QUI MODIFIENT LES CARACTÈRES DE LA RESPIRATION.

A. — *Influence de l'étroitesse des voies respiratoires.*

Si l'on enregistre comparativement les mouvements qu'on exécute en respirant librement, la bouche entr'ouverte, et ceux qui se produisent lorsqu'on se condamne à respirer exclusivement par un tube plus ou moins étroit, on voit que le second tracé diffère du premier par la fréquence, l'amplitude, le rhythme et l'altitude. Plus le tube employé est étroit, plus on voit s'accuser les différences qui existent entre le tracé obtenu et celui que donne la respiration libre. Dans la figure 15 le tracé A est obtenu par la respiration normale ; le tracé O par la respiration à travers un tube étroit. Quelles sont ces différences et à quoi sont-elles dues? C'est ce que nous allons examiner (1).

(1) Le 1er tableau représente dans sa deuxième série d'expériences le rapport de la fréquence et du rhythme de la respiration par un tube étroit ; la première série est formée d'expériences faites presque au même moment, mais en respirant librement.

Fréquence. — L'étroitesse des voies respiratoires diminue la fréquence de la respiration. Ce fait ressort clairement du tableau suivant (1) :

2e TABLEAU.

Numéros d'ordre des expériences.	Respiration libre.	Respiration par un tube étroit.
1.......	19	18 1/2
2.......	21 1/2	20 1/2
3.......	24	21
4.......	18	17
5.......	19	16
6.......	14 3/4	11 1/2
7.......	18 1/2	14 1/2
8.......	14 2/3	11
9.......	17 2/3	11 1/3
10.......	11 3/4	11 1/4
11.......	15 1/4	16
12.......	16	12

Ce ralentissement de la respiration, produit par les résistances au passage de l'air, concorde avec celui que nous avons signalé autrefois à propos de la circulation cardiaque, lorsque nous avons montré que le cœur ralentit ses mouvements si le sang qui s'en échappe rencontre un obstacle à son passage. Ce ne sera pas le seul point de rapprochement que nous rencontrerons entre la circulation et la respiration, ces deux fonctions si intimement liées et qui réagissent sans cesse l'une sur l'autre.

Amplitude. — L'amplitude de la respiration augmente sous l'influence d'un obstacle au passage de l'air. Le tableau cinquième en donnera la preuve :

(1) Dans ce tableau, en face de chaque numéro d'ordre est indiqué le résultat des deux expériences comparatives faites immédiatement l'une après l'autre : l'une en respirant librement, l'autre en respirant à travers un tube étroit.

3e TABLEAU.

TABLEAU *des amplitudes comparatives de la respiration suivant qu'elle est libre ou gênée* (1).

RESPIRATION LIBRE.			RESPIRATION PAR LE TUBE.		
Amplitudes additionnées	Nombre des respirations.	Amplitude moyenne.	Amplitu e s additionnées.	Nombre des respirations.	Amplitudes moyennes.
76	15	5,06	65 1/2	11 1/2	5,69
53	18	2,94	61	13	4,67
123	21 1/2	5,72	150	21	7,14
110	14	7,85	157	11	14,27
121	18	6,72	122	11	11,09

Il s'établit donc, dans ces circonstances, une sorte de compensation entre la fréquence diminuée et l'amplitude augmentée, de telle sorte que la fonction respiratoire souffre le moins possible de l'obstacle au passage de l'air. Il y a comme une tendance à la fixité des volumes d'air mis en mouvement en un temps donné, de sorte que la fonction d'hématose doit conserver sensiblement son état normal. — Nouvelle analogie avec ce qui se passe du côté du cœur, dont les systoles lancent en général des ondées d'autant plus abondantes qu'elles sont plus rares. — La compensation de la diminution de fréquence par la plus grande amplitude des respirations n'est assurément pas constante ; l'étroitesse exagérée des voies respiratoires amène une gêne et une anxiété que tout le monde connaît et qui se traduit par une diminution évidente de l'hématose, ce qui prouve qu'à ce moment la quantité d'air qui pénètre dans les poumons est insuffisante.

(1) En divisant la somme de toutes les amplitudes par le nombre des respirations, on obtient la moyenne amplitude d'une respiration.

Rhythme. — La respiration, sous l'influence de l'étroitesse du passage de l'air, change de rhythme, c'est-à-dire que le rapport de durée entre l'inspiration et l'expiration se modifie. C'est l'inspiration qui gagne en longueur. Voici les chiffres obtenus :

4e TABLEAU.

Durées additionnées pour chaque période de la respiration pendant une minute (1).

	INSPIRATIONS.		EXPIRATIONS.	
	Respiration libre.	Respiration par un tube étroit.	Respiration libre.	Respiration par un tube étroit.
A.	101	130	199	170
B.	119	139	181	161
C.	130	132	170	168
D.	100	117	200	183

B. — *Effets de l'obstacle au passage de l'air n'existant que dans un seul sens, celui de l'inspiration ou celui de l'expiration.*

Les expériences précédentes ont été faites en respirant soit librement, soit par un tube étroit; l'obstacle au courant d'air était donc le même dans les deux périodes : dans l'inspiration et dans l'expiration. Nous avons voulu étudier l'influence qu'aurait sur le rhythme de la respiration une résistance qui, tantôt s'opposerait seulement à l'arrivée de l'air dans les poumons, tantôt gênerait seulement sa sortie.

A cet effet, nous avons pris un tube de cuivre de 12 millimètres de diamètre et de 10 centimètres de longueur, assez large par

(1) On pourra trouver dans le premier tableau d'autres exemples de ces modifications, puisque le tableau est formé dans la première série par les chiffres fournis par la respiration normale, tandis que la deuxième série correspond à la respiration par un tube étroit.

conséquent pour qu'on puisse respirer librement par son ouverture. A l'intérieur, nous avons placé une soupape qui présente à son centre une ouverture de 3 millimètres de diamètre. Dans un sens, le courant d'air ouvre la soupape et passe sans résistance ; dans l'autre, il la ferme et n'a d'autre passage que l'orifice étroit dont elle est percée. Suivant qu'on place dans la bouche l'une ou l'autre extrémité du tube, le plus grand obstacle au passage de l'air correspond à l'inspiration ou à l'expiration.

Des tracés ont été recueillis dans chacune de ces conditions et ont révélé les modifications suivantes dans les mouvements respiratoires.

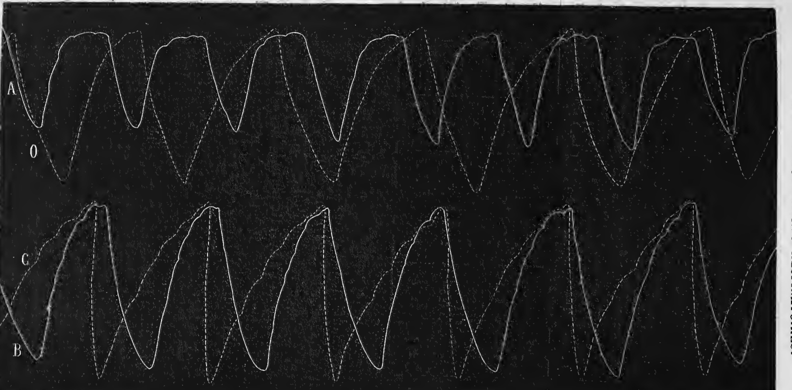
La figure 15 représente quatre tracés de la respiration, obtenus dans des conditions différentes. Le tracé A est formé par la respiration libre ; le tracé O ponctué, est produit en respirant à travers un tube étroit, c'est-à-dire avec un égal obstacle aux deux périodes de la respiration ; les tracés B et C dont l'un est formé par une ligne pleine, l'autre par une ligne ponctuée, sont obtenus en respirant par le tube à soupape. L'obstacle se trouvait dans le sens de l'inspiration pour le tracé B. Il se trouvait, au contraire, dans le sens de l'expiration pour le tracé qui est représenté par la ligne ponctuée C.

Si l'on compare le tracé de la respiration libre A aux tracés B et C, on voit que ces derniers, quel que soit le sens de l'obstacle, présentent moins de fréquence et plus d'amplitude ; en superposant ces deux tracés qui ont à peu près la même fréquence, on voit nettement la différence de rhythme qui se produit suivant le sens de l'obstacle au passage de l'axe.

L'obstacle en un seul sens ralentit toujours la période de la respiration sur laquelle il porte. Ainsi, dans la ligne B, l'inspiration est plus longue qu'à l'état normal. Dans la ligne C, l'expiration est prolongée.

Le tableau cinquième donne le relevé de dix expériences faites dans des conditions semblables à celles qui ont fourni la figure précédente. Chaque tracé, recueilli avec un obstacle à l'inspiration, a été immédiatement suivi d'un autre tracé obtenu dans les conditions inverses.

FIG. 15



Tracés respiratoires : A, Respiration normale ; O, tracé de la respiration avec étroitesse du passage de l'air ; B, tracé dans le cas d'obstacle à l'inspiration ; C, tracé dans le cas d'obstacle à l'expiration.

5e TABLEAU.

Influence qu'exerce sur le rhythme de la respiration, un obstacle qui ne gêne que dans un sens le passage de l'air.

	OBSTACLE A L'INSPIRATION.				OBSTACLE A L'EXPIRATION.			
	Nombre des respirat.	DURÉE des inspirat.	DURÉE des expirations	Rapport, l'inspirat. étant 1.	Nombre des respirat.	DURÉE des inspirat.	DURÉE des expirations	Rapport, l'inspirat. étant 1.
A.	19,5	213	87	0,40	21	84	216	2,57
B.	16,5	148	152	1,02	17	97	203	2,09
C.	19	93	207	2,22	19,6	73	227	3,11
D.	17,5	141	159	1,12	21,5	54	246	4,55
E.	11,2	143	157	1,09	9,5	66	234	3,54

Dans ce tableau, le rapport de l'inspiration à l'expiration est calculé en prenant la durée des inspirations comme unité. En comparant deux expériences consécutives, on voit que, dans tous les cas, la durée relative de l'expiration a été fort accrue lorsque l'obstacle portait sur cette période. L'effet inverse se produisait quand l'obstacle était en sens contraire : c'était alors l'inspiration qui devenait relativement plus longue.

C. — *Influence d'une compression extérieure de la poitrine.*

Si l'on comprime le tronc avec une large ceinture fortement sanglée, de manière à produire une gêne de la respiration, on voit se produire des changements notables dans la fréquence, le rhythme et l'amplitude de la respiration. Contrairement à ce que produisent les autres obstacles, la compression thoracique accélère les mouvements respiratoires.

Elle produit une grande diminution de l'amplitude de ces mouvements, ce qui se conçoit facilement d'après la nature de l'ob-

stacle, qui était, dans nos expériences, une ceinture inextensible s'opposant énergiquement à l'ampliation de la poitrine. Enfin, elle modifie le rhythme, en rendant plus égales l'inspiration et l'expiration, la première gagnant en durée aux dépens de la seconde. Nous n'avons pas jusqu'ici étudié les influences que produiraient des ceintures plus ou moins élastiques substituées à la sangle inextensible qui nous a servi; ces recherches seront continuées ultérieurement.

Il serait intéressant de grouper dans un tableau synoptique les modifications que produit sur la respiration l'existence de tel ou tel obstacle au passage de l'air. Nous noterons seulement les changements en plus ou en moins que subit la fréquence générale des respirations, ou la durée relative de chacune de leurs périodes par rapport au type normal.

6e TABLEAU.

Obstacle dans les deux sens.	Amplitude +		
	Fréquence —		
	Rhythme..........	Inspiration +	
		Expiration —	
Obstacle dans un seul sens.	Obstacle à l'inspiration.	Amplitude +	
		Fréquence	
		Rhythme....	Inspiration +.
			Expiration —.
	Obstacle à l'expiration.	Amplitude +	
		Fréquence —	
		Rhythme....	Inspiration —.
			Expiration +.
Compression extérieure de la poitrine.....	Amplitude —		
	Fréquence +		
	Rhythme...	Inspiration +.	
		Expiration —.	

RAPPORT DE FRÉQUENCE DES BATTEMENTS DU COEUR AVEC LA RESPIRATION.

On discute beaucoup aujourd'hui la question de savoir s'il existe, pour la fréquence, un rapport constant entre la respiration et les battements du cœur. Longtemps on admit que la respiration et l'action du cœur croissaient et décroissaient parallèlement, de

sorte que ces deux fonctions conservaient entre elles un rapport constant. Le nombre des battements du cœur serait de quatre à cinq environ pour chaque mouvement respiratoire.

Dans cette hypothèse, si quelque influence agissant sur la circulation accélérait les battements du cœur, il se produisait en même temps une accélération parallèle de la respiration, de sorte que le rapport n'était pas changé. Réciproquement, une accélération de la respiration produisait un accroissement proportionnel de la fréquence des battements du cœur.

Depuis quelques années, les physiologistes se préoccupent de rechercher si l'existence d'un pareil rapport entre les deux fonctions est bien réelle, et l'on a constaté, dans un grand nombre de cas, que ce rapport constant cessait d'exister.

On sait depuis longtemps que la section du pneumogastrique ralentit la respiration, tandis qu'elle accélère les battements du cœur. Tout récemment Moleschott a porté une nouvelle atteinte à l'opinion physiologique ancienne, en montrant que lorsqu'on ga!-

Nous avons déterminé la fréquence des battements du cœur dans les expériences ci-dessus décrites, et nous avons vu que toutes les fois qu'un obstacle au mouvement de l'air ralentit la respiration, le nombre des battements du cœur s'accroît en même temps.

Il est facile de déterminer ainsi le rapport de fréquence des battements du cœur et des respirations en les enregistrant par les procédés que nous avons indiqués, de façon à obtenir en même temps deux tracés comme ceux qui sont représentés figure 13 en A, pour la respiration, et en C pour le cœur. Le tracé C tout seul suffirait pour déterminer cette relation de fréquence, puisqu'il porte l'indication de chacun des mouvements respiratoires. En relevant plusieurs séries d'expériences ainsi instituées, tantôt avec la respiration libre, tantôt avec un obstacle au passage de l'air, nous avons trouvé constamment un accroissement de la fréquence des battements du cœur, lorsque l'obstacle à la respiration existait et ralentissait cette dernière.

Voici le relevé de ces expériences ; on y trouve, sous forme de tableau général, l'indication de tous les effets produits par les divers obstacles au passage de l'air.

Numéro de l'expér.	RESPIRATION LIBRE. NOMBRE des battements du cœur.	des respirations.	Rapport des battements aux respirations	DURÉE des inspirations.	des expirations	Rapport des expirations aux inspirations.	RESPIRATION PAR LE TUBE. NOMBRE des battements du cœur.	des respirations.	Rapport des battements aux respirations	DURÉE des inspirations.	des expirations	Rapport des expirations aux inspirations.
	80	19	4,21	101	199	2	85	18 2	4,67	130	170	1,30
	87	21 1/2	4,04	119	181	1,44	93	20 1/2	4,55	139	161	1,15
3.	83	24	3,46	130	170	1,30	87	21	4,14	132	168	1,27
4.	94	19	4,94	104	196	1,88	95	16	5,93	119	181	1,52
5.	87	14 3/4	6,08	92	208	2,30	91	11	7,92	126	174	1,32
6.	80	18 1/2	4,32	104	196	1,88	83	14	5,03	134	166	1,23
7.	93	14 2/3	6,36	105	195	1,85	94	11	8,54	128	172	1,34
8.	87	17 2/3	4,94	126	174	1,38	90	11 1/3	7,97	139	161	1,15
9.	87	11 3/4	7,37	126	174	1,38	89	11 1/4	7,94	135	165	1,22
10.	91	15 1/4	5,98	136	164	1,20	98	16	5,81	140	160	1,14
11.	90	16	5,52	124	176	1,42	96	13	8	143	157	1,09
12.	82	14 1/4	5,77	148	152	1,02	83	13 3/4	6,01	154	146	1,94
13.	81	14 1/2	5,58	120	180	1,50	83	10 1/2	7,90	132	168	1,27
14.	63	13	4,84	87	213	2,42	76	9 1/4	8,24	110	190	1,72
15.	55	12 3/4	4,29	107	193	1,80	56	9 1/4	6,08	110	190	1,72

Obstacle à la respiration dans un seul sens.

	OBSTACLE A L'INSPIRATION.						OBSTACLE A L'EXPIRATION.					
1.	84	19 1/2	4,30	213	87	0,40	88	21	4,19	84	216	2,56
2.	75	16 1/2	4,48	148	152	1,02	82	17	4,82	97	203	2,09
3.	95	19	5,00	93	207	2,22	91	19,6	4,64	73	227	3,11
4.	93	17,5	5,47	141	159	1,11	96	21,5	4,46	54	246	4,55
5.	95	12 1/3	7,60	143	157	1,09	87	9 1/2	9,15	66	234	3,54

CONCLUSIONS.

Il résulte des précédentes recherches que les mouvements respiratoires peuvent être représentés graphiquement avec leurs caractères, et que ceux-ci nous peuvent renseigner utilement sur certains phénomènes inaccessibles à nos sens. A peine ébauchée, cette étude physiologique permet d'espérer que de nouveaux symptômes cliniques pourront être tirés de la forme que présente la respiration dans tel ou tel cas. Ce n'est pas trop donner à l'hypothèse que de prévoir dès aujourd'hui que les modifications morbides de la contractilité pulmonaire influenceront le rhythme des mouvements respiratoires, puisqu'elles doivent agir, dans un sens ou dans l'autre, comme obstacle à la respiration. Les faits acquis jusqu'ici sont purement physiologiques et peuvent se résumer dans les propositions suivantes :

1° Les mouvements du thorax et ceux de l'abdomen sont parfaitement parallèles à l'état normal, de sorte que si on les enregistre simultanément; ils fournissent le même tracé.

2° Les mouvements du thorax ou de l'abdomen sont, à chaque instant, proportionnels dans leur intensité à la quantité d'air qu'ils mettent en mouvement.

3° On peut évaluer les volumes d'air, respirés en un temps donné, d'après les amplitudes des mouvements respiratoires enregistrés graphiquement,

4° Il n'existe pas de rhythme ni de fréquence normale de la respiration, mais on peut déterminer les influences qui modifient cette fréquence et ce rhythme. Nous avons étudié seulement l'influence des obstacles à la respiration. Voici comment elles agissent :

5° Si l'on respire par un tube étroit, on diminue la fréquence de la respiration, on augmente son amplitude, et l'on change son rhythme en allongeant la période d'inspiration.

6° Si l'obstacle à la respiration n'existe que dans un sens, ce

qui arrive lorsqu'on met une soupape dans le tube, on voit que l'obstacle allonge la période de la respiration pendant laquelle il agit.

7° Le rapport de fréquence des battements du cœur et des mouvements respiratoires est altéré lorsqu'il existe un obstacle au passage de l'air. En même temps que la respiration devient plus rare, les battement du cœur deviennent plus fréquents.
